

Treball Final de Carrera

*Bancs de proves per motors de
modelisme*

Pere Garreta Ferrer

Enginyeria Tècnica Industrial

Director: Doctor Pere Martí Puig

Vic, Juny 2014

INDEX

AGRAÏMENTS.....	6
RESUM	7
ABSTRACT	8
NOMENCLATURA	9
1. INTRODUCCIO	10
1.1 – Propulsors utilitzats en aeromodelisme.....	10
1.2 – Les hèlix, tipus i paràmetres principals.....	13
1.3 – Tècniques per mesurar el parell motor i potència.....	14
1.4 – Combustibles.....	16
2 – OBJECTIUS I METODOLOGIA.....	17
2.1 – Objectius	17
2.2 – Metodologia.....	17
2.3 – Factors de correcció per condicions atmosfèriques	18
2.3.1 – Norma SAE J 1349.....	19
2.3.2 – Càlcul de la pressió de l'aire sec (Pd)	20
2.4 – Efectes atmosfèrics sobre les hèlix	21
2.4.1 – Càlcul de la densitat de l'aire.....	22
3 – FONAMENTS TEORICS	23
3.1 - Definicions.....	23
3.2 – Càlculs.....	24
3.2.1 – Moment d'inèrcia d'un cilindre	24
3.2.2 – Acceleració angular del volant d'inèrcia	25
3.2.3 – El parell motor	26
3.2.4 – La potència.....	26
3.2.5 – Tracció d'una hèlix.....	26
3.2.5.1 – Estimació de la tracció estàtica	27
3.2.5.2 – Pas relatiu de l'hèlix.....	27

3.2.5.3 – Relació d’avanç	27
3.2.5.4 – Velocitat de vol estimada.....	28
4 – ESPECIFICACIONS.....	29
5 – ELECTRONICA DE CONTROL	30
5.1 – Font d’alimentació	30
5.2 – Circuit principal de control	31
5.3 – Control de servo de radiocontrol	31
5.3.1 – Funcionament d’un servo de radiocontrol.....	32
5.4 – Sensors de revolucions	33
5.4.1 – Sensors de revolucions del banc de tracció	33
5.4.2 – Sensors de revolucions del banc de potència i parell.....	34
5.5 – Convertidor de senyals TTL a RS232 i USB	35
5.6 – Convertidor analògic digital del sensor de tracció	36
6 – BANC DE PROVES DE TRACCIO	37
7 – BANC DE PROVES DE PARELL I POTENCIA.....	44
8 – SOFTWARE D’ADQUISICIO DE DADES	46
8.1 – Configuració de l’aplicació.....	46
8.1.1 – Configuració del port sèrie.....	46
8.1.2 – Configuració de l’aspecte	47
8.1.3 – Data i hora.....	48
8.2 – Configuració dels tests	48
8.2.1 – Configuració dels motors.....	48
8.2.2 – Configuració dels volants d’inèrcia	49
8.2.3 – Materials dels volants d’inèrcia.....	51
8.2.4 – Configuració del servo.....	51
8.3 – Tests dels motors	52
8.3.1 – Crear nou test.....	53
8.3.2 – Recuperar test.....	53
8.3.2.1– Gràfics del test de tracció	56
8.3.2.2– Gràfics del test de parell i potència.....	57
8.3.3 – Gràfiques mitjanes.....	60

8.3.4 – Eliminar tests.....	61
8.4 – Eines	62
8.4.2 – Càlcul de volants d'inèrcia.....	62
8.4.3 – Backup de dades.....	63
8.4.4 – Estimació de la tracció.....	63
9 – DADES DE MOTORS	65
10 – TEST DE TRACCIÓ	66
10.1 – Hèlix recomanades pels fabricants.....	66
10.2 – Tests de tracció realitzats.....	66
10.2.1 – Hèlix Master Airscrew G-F3 Series - 10x7.....	68
10.2.3 – Hèlix Master Airscrew - 11x7 – 2 pales	72
10.2.4 – Hèlix APC – 12x6 – 2 pales.....	74
10.2.5 – Hèlix Master Airscrew K-Series – 12x6 – 2 pales.....	76
10.2.6 – Hèlix Graupner Sonic Pro – 12x6 – 2 pales.....	78
10.2.7 – Conclusions dels test individuals.....	80
10.2.8 – Comparació de resultats.....	80
10.2.8.1 – Gràfica comparativa 1	81
10.2.8.2 – Gràfica comparativa 2	82
10.2.8.3 – Gràfica comparativa 3	83
10.2.8.4 – Gràfica comparativa 4	84
10.2.8.5 – Conclusions de les comparacions de tests.....	85
11 – AMPLIACIONS FUTURES.....	86
12 – CONCLUSIONS	87
ADRECES D'INTERNET.....	88
BIBLIOGRAFIA	89
ANNEX.....	91

AGRAÏMENTS

En primer lloc agrair al doctor Pere Martí per haver acceptat la direcció d'aquest treball.

D'altre banda agrair a la meva família per la seva paciència, i molt especialment al meu pare, al qual dedico aquest treball per tot el que m'ha ensenyat al llarg dels anys, i finalment a tots aquells que m'han donat suport al llarg de la carrera.

Moltes gràcies.

Títol: Bancs de proves per motors de modelisme

Paraules clau: Parell, Potència, Hèlix, Tracció, Combustió interna, Motors glow

Autor: Pere Garreta Ferrer

Direcció: Pere Martí Puig

Data: Juny 2014

RESUM

Són habituals entre els aeromodelistes les discussions que giren al voltant de la potència dels motors d'explosió i quina hèlix va millor. La manca d'informació tècnica dels motors i de les hèlix fa que aquestes discussions de vegades tinguin una validesa molt limitada, doncs es fonamenten simplement en les sensacions i percepcions subjectives de cadascun dels pilots, sobretot quan es parla de potència.

En aquest projecte s'utilitzarà un dinamòmetre inercial, consistent en un volant d'inèrcia el qual s'accelerarà fins assolir les revolucions per minut màximes. La acceleració d'aquest volant mesurat en intervals de temps regulars i conegut el moment d'inèrcia del volant ens permetrà calcular el parell motor i la potència a diferents règims de revolucions per minut.

Per altra banda es pretén comparar diferents hèlix muntades en un mateix motor per poder-ne comparar la tracció a diferents revolucions per minut. La tracció es mesurarà utilitzant una cèl·lula de càrrega.

Les dades d'ambdós bancs de proves seran recollits i emmagatzemats per un PC amb un software fet a mida per aquest projecte. Una vegada finalitzat cada test es mostraran les dades obtingudes, tant els numèricament com gràficament, permetent a més comparar el resultat de diferents tests, de diferents motors i de diferents hèlix.

Title: Test benches for model engines

Keywords: Torque, Power, Propeller, Thrust, Internal combustion, Glow engine

Author: Pere Garreta Ferrer

Director: Pere Martí Puig

Date: June 2014

ABSTRACT

It is frequent between model airplane pilots to disease about the power of their internal combustion engines and which propeller is more adequate to each engine. There is not available a lot of technical information about these engine and the propellers, and this converts these disease to low importance, the information of the pilots is based mainly in the subjective feelings during the flights.

In this project we will use an inertial dynamometer, with a flywheel that will be accelerated to its maximum revolutions per minute. The acceleration of the flywheel measured in time intervals and known the moment of inertia of the flywheel will allow to us to calculate the torque and power of the engines at different speeds.

On the other hand we want to compare different propellers installed in a same engine to compare the thrust at different speeds. The thrust will be measured using a load cell.

The data collected in both test benches will be stored in a PC provided with a software designed for this project. Once each test finished, the software will show the data, numerically and graphically, allowing to the user to compare different tests of different engines and different propellers.

NOMENCLATURA

<u>Símbol</u>	<u>Descripció</u>	<u>Unitats</u>
<i>T</i>	<i>Parell motor</i>	<i>[N · m]</i>
<i>J</i>	<i>Moment d'inèrcia</i>	<i>[N · m²]</i>
<i>α</i>	<i>Acceleració angular</i>	<i>[rad/s²]</i>
<i>Cf</i>	<i>Factor de correcció</i>	<i>Adimensional</i>
<i>Pd</i>	<i>Pressió de l'aire</i>	<i>[hPa]</i>
<i>Tc</i>	<i>Temperatura ambient</i>	<i>[°C]</i>
<i>ρ</i>	<i>Densitat de l'aire</i>	<i>[kg/m³]</i>
<i>P</i>	<i>Pressió atmosfèrica ò baromètrica</i>	<i>[hPa]</i>
<i>Hr</i>	<i>Humitat relativa de l'aire</i>	<i>[%]</i>
<i>P</i>	<i>Potència</i>	<i>[Watt]</i>
<i>Ts</i>	<i>Tracció estàtica</i>	<i>[N]</i>

Taula 01 – Nomenclatura utilitzada

1. INTRODUCCIO

Són habituals entre els aeromodelistes les discussions que giren al voltant de la potència dels motors d'explosió i quina hèlix s'adapta millor a cada motor. La manca d'informació tècnica dels motors i de les hèlix fa que aquestes discussions tinguin una validesa molt limitada, doncs es fonamenten simplement en les sensacions i percepcions subjectives de cadascun dels pilots de radiocontrol.

1.1 – Propulsors utilitzats en aeromodelisme

Els propulsors utilitzats en aeromodelisme els podem dividir en tres grans blocs:

- Motors d'explosió amb pistó (2 temps, 4 temps, glow i benzina)
- Motors elèctrics ("Brushless" i amb escombretes)
- Turbines

Aquest projecte es centrarà en els motors d'explosió, tot i que el test de tracció es podria realitzar també amb motors elèctrics i turbines.

Els motors de combustió interna amb pistó són el tipus de propulsor més utilitzat, tant en aeromodelisme com en el modelisme en general. Aquest tipus de motors els podem subdividir en quatre blocs:

- Motors de 2 temps
- Motors de 4 temps
- Motors glow (amb bugia incandescent)
- Motors amb encesa (bugia d'espurnes)

Els motors de dos temps són motors que no disposen de vàlvules per controlar els cicles d'admissió de combustible i d'escapament de gasos cremats, uns canals mecanitzats en el propi cilindre (tradicionalment anomenats *transfers*) conjuntament amb el moviment de pujada i baixada del pistó fan la funció d'admissió i escapament. Són motors caracteritzats per tenir una explosió a cada volta del cigonyal. Les característiques del seu disseny fan que siguin motors que poden assolir règims de rotació molt elevats. En contrapartida el seu rendiment és més baix que el d'un motor de quatre temps.

Els motors de quatre temps disposen de vàlvules d'admissió i escapament, són motors més sofisticats mecànicament. Es caracteritzen per tenir una explosió cada dues voltes. Són motors que treballen a un règim màxim de revolucions per minut més baix que no pas els motors de dos temps, però tenen l'avantatge de tenir un rendiment superior.

Els motors de petita cilindrada funcionen amb un tipus de bugia anomenada "Glow" que és una bugia incandescent. Un filament de platí a l'interior de la bugia es manté incandescent per les explosions a l'interior del cilindre, facilitant així la inflamació del combustible.

Els motors amb una cilindrada habitualment superior als 30cc funcionen amb bugies tradicionals, és a dir amb bugies d'espurna.



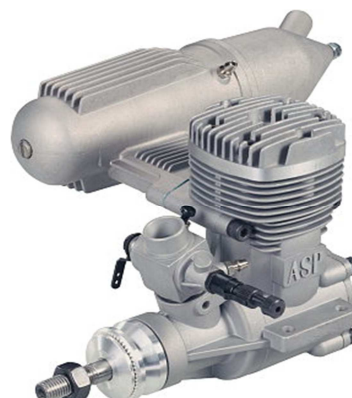
IMG01 - Motor Thunder Tiger 46-PRO (2 temps glow)



IMG02 - Motor OS-46LA (2 temps glow)



IMG03 - Motor OS-61FX (2 temps glow)



IMG04 - Motor ASP 61A (2 temps glow)



IMG05 - Motor ASP FS52 (4 temps glow)



IMG06 - Motor SAITO-130T (2 cilindres, 4 temps)



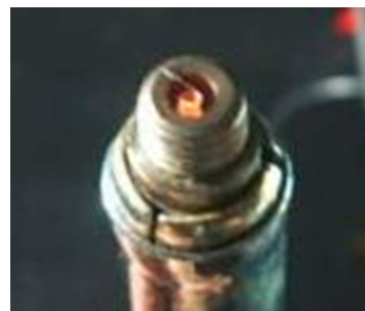
IMG07 - Bugia d'espurnes



IMG08 - Bugia tipus glow (de filament)



IMG09 - Vista del filament de dues bugies glow



IMG10 - Vista d'un filament incandescent

1.2 – Les hèlix, tipus i paràmetres principals

Escollir l'hèlix que millor s'adapta a un motor i a un avió és fonamental per poder volar amb seguretat i amb comoditat. Al mercat es poden trobar diferents fabricants d'hèlix per aeromodelisme (APC, Graupner, Master Airscrew, etc.), cadascun d'ells amb el seu particular disseny i les seves característiques dinàmiques. Tot i essent les hèlix de dues pales les més utilitzades podem trobar al mercat hèlix de tres i quatre pales, destinades principalment a maquetes en miniatura d'avions reals.

Els paràmetres que defineixen una hèlix són el seu diàmetre i el seu pas. El diàmetre és el del cercle que descriuen al girar. El pas, per conveni, es mesura al 75% del radi de l'hèlix i es defineix igual que en mecànica, és a dir el desplaçament linial que produeix al girar una volta sencera. Per exemple, una hèlix 11x6 té un diàmetre de 11 polzades i un pas de 6 polzades per volta, i una hèlix 12x7 té un diàmetre de 12 polzades i un pas de 7 polzades per volta. Habitualment el diàmetre i el pas de les hèlix utilitzades en aeromodelisme es mesura en polzades (1 polzada = 25,4mm).

Els fabricants de motors recomanen un rang d'hèlix per cadascun dels seus motors, és decisió de cada pilot escollir l'hèlix que munta en els seus motors.



IMG11 – Hèlix Master Airscrew 11x6 tripala



IMG12 – Hèlix Master Airscrew 11x6 de dues pales



IMG13 – Hèlix APC 11x6 de dues pales



IMG14 – Hèlix APC 15.75x13 tripala

1.3 – Tècniques per mesurar el parell motor i potència

Al llarg de la història s'han anat desenvolupant diversos mètodes i enginyers per poder mesurar la potència i el parell que un motor és capaç de desenvolupar, des dels sistemes més senzills fins als més complexos.

Antigament per mesurar el parell d'un motor, es lligava un pes amb una corda a l'eix del motor que es volia mesurar, de manera que al girar el motor i enrotllar-se la corda ho fes sobre si mateixa, incrementant així el radi on s'aplicava el pes. Al engegar el motor el pes pujava amb facilitat però a mesura que la corda s'anava enrotllant al voltant de l'eix i el radi augmentava també augmentava la força que el motor havia de fer per fer pujar el pes, fins arribar al punt on el motor s'aturava. En aquest punt es mesurava el radi de la corda embolicada al

voltant de l'eix. El càlcul del parell aleshores era una simple multiplicació:

$$T = \text{massa en Kg} * \text{Radi en metres} * 9,81 \quad [N \cdot m] \quad (\text{eq. 1})$$

Un altre tipus, i potser el més popular, és el dinamòmetre inercial, que consisteix en un volant d'inèrcia muntat directament a l'eix del motor o mitjançant un tren d'engranatges. Amb aquest sistema el que es fa és accelerar el motor fins al màxim de revolucions que pot funcionar i es mesuren les variacions de revolucions per minut en intervals de temps regulars (acceleració angular (α)). Cal conèixer per altra banda el moment d'inèrcia del conjunt del volant d'inèrcia (J) acoblat a l'eix. Una vegada obtingudes les mesures d'acceleracions angulars(α) el càlcul del parell motor és molt senzill:

$$T = \alpha * J \quad (\text{eq. 2})$$

Altres sistemes podrien ser per exemple el fre de Prony, el dinamòmetre hidràulic i el dinamòmetre elèctric. El fre de Prony (inventat pel enginyer francès Gaspard Clair Francois Marie Riche de Prony (1775-1839)), consisteix en una tambor cilíndric metàl·lic muntat solidàriament sobre l'eix del motor, sobre aquest tambor s'hi muntaven una mordassa ajustable que feia de fre. Aquesta mordassa anava muntada a l'extrem d'una barra, l'altre extrem s'hi instal·lava un dinamòmetre. Al fer girar el motor i variar la força de frenada de la mordassa variava la força que la barra feia sobre el dinamòmetre. Es mesuraven les RPM, la força sobre el dinamòmetre i es coneixia la longitud de la barra, d'aquesta manera es calculava el parell. Una vegada conegut el parell podem calcular la potència.

Sistemes més moderns com acceleròmetres, mesuradors de parell electrònics, frens d'Eddy, etc

1.4 – Combustibles

El combustible utilitzat habitualment en aeromodelisme per als motors de tipus glow (bugia incandescent) consisteix en una mescla de Nitrometà (CH_3NO_2), Metanol (CH_3OH) i oli. El tipus d'oli utilitzat habitualment és el de tipus sintètic ja que al cremar gairebé no genera restes de tipus sòlid, lubriquen molt bé, aguanten molt bé la temperatura i no embruten els motors. Cada pilot escull el percentatge de cada component que fa servir o pot comprar combustible ja fet amb uns percentatges concrets (que gairebé mai se sap exactament quin percentatge de cada component contenen ni la qualitat dels components). El component que realment fa de combustible és el metanol.

La molècula de nitrometà conté dos àtoms d'oxigen i la molècula de metanol en conté només un. El nitrometà aleshores aporta oxigen a la combustió la qual cosa permet introduir una quantitat de combustible més gran cap al cilindre i una quantitat d'oxigen més petita per realitzar la combustió. Per altra banda, el nitrometà actua també com a refrigerant.

Com a tercer component del combustible hi ha l'oli, la seva funció és exclusivament la de lubricar la mecànica i reduir els fregaments entre les peces. Els percentatges de cada component poden variar a gust de cada pilot, essent el més habitual utilitzar entre un 10% i un 20% en volum d'oli, entre un 5% i un 15% en volum de nitrometà i la resta metanol. Cada fabricant de motors fa les seves recomanacions dels percentatges d'oli i nitrometà, després és decisió de cada pilot seguir aquestes recomanacions o no.

Per als motors de bugia amb espurna s'utilitza una mescla de benzina i entre un 15% i un 20% en volum d'oli sintètic.

2 – OBJECTIUS I METODOLOGIA

La manca d'informació tècnica provoca especulacions de tota mena, i moltes vegades sense cap mena de fonament. La informació obtinguda amb els tests que permet fer aquest projecte pretén treure de dubtes i donar unes dades orientatives tant pel que respecta a la potència dels motors com el que respecta a la qualitat de les hèlix utilitzades.

2.1 – Objectius

Aquest projecte té pretén facilitar un conjunt d'eines que permetin obtenir informació tècnica sobre el parell i la potència que desenvolupen els motors de modelisme per tal de poder-los comparar i poder-los ajustar correctament per tal d'obtenir-ne la màxima potència i veure quin efecte té per exemple la variació del percentatge de cada component de la mescla de combustible.

Per altra banda es pretén facilitar una eina que permeti mesurar la tracció de diferents hèlix amb característiques semblants muntades sobre un mateix motor, i amb els resultats obtinguts poder veure quina hèlix s'adapta millor a cada motor.

Per a les proves s'utilitzaran motors de tipus glow de 2 temps d'una cilindrada compresa entre 7 centímetres cúbics i 13 centímetres cúbics. Per motius econòmics i de temps, s'ha decidit aplaçar el dinamòmetre inercial per una segona fase, tot i que s'ha desenvolupat la electrònica corresponent i el software d'adquisició de dades està preparat i verificat.

2.2 – Metodologia

Es dissenyaran dos bancs de proves diferents, un serà per obtenir les dades de potència i parell dels motors, consistent en un dinamòmetre de tipus inercial.

L'altre banc de proves anirà destinat a poder mesurar la tracció de les diferents hèlix instal·lades en diferents motors. Es dissenyarà també un software capaç

de recollir les dades, emmagatzemar-les, processar-les i mostrar els resultats dels tests, tant numèricament com gràficament i poder comparar els diferents tests realitzats.

Els càlculs bàsics requerits per obtenir el parell, la potència i la tracció d'una hèlix són sorprenentment simples, però quan es pretén obtenir uns resultats per poder comparar amb altres tests realitzats sobre els mateixos bancs de proves aleshores la complicació entra en escena, i en aquest cas els factors meteorològics compliquen el projecte, doncs tenen efectes gens negligibles.

2.3 – Factors de correcció per condicions atmosfèriques

És conegut que les condicions atmosfèriques afecten al funcionament d'un motor d'explosió. És fàcilment verificable comparant el funcionament d'un cotxe o d'una moto al nivell del mar o a la muntanya. Els motors de modelisme no són una excepció a aquests factors, doncs és habitual haver de fer petits ajustaments al carburador a l'estiu i a l'hivern, en dies molt humits o dies secs. Els factors que afecten al seu funcionament són la humitat ambient, la pressió atmosfèrica, i la temperatura ambient. Per tal de poder comparar dos tests de potència realitzats en condicions meteorològiques diferents cal "corregir" els resultats obtinguts de manera que puguin ser comparats com si les condicions atmosfèriques al moment de realitzar els tests fossin les mateixes. Per normalitzar els resultats obtinguts cal aplicar un factor de correcció.

No hi ha cap normativa que permeti equiparar tests de potència en motors de modelisme però sí que hi ha diferents normes SAE i DIN que s'apliquen en automoció i permeten calcular aquests factors de correcció. En aquest projecte s'ha aplicat la norma SAE J 1349 [1].

2.3.1 – Norma SAE J 1349

El estàndard ò norma SAE J 1349 va ser desenvolupada el juny de l'any 1990, i agafa com a referència les següents condicions atmosfèriques:

- Humitat relativa: 0%
- Temperatura ambient: 25°C
- Pressió atmosfèrica: 99KPa

Aquesta norma es va revisar l'agost de l'any 2004, i assumeix que un motor té un 85% d'eficiència mecànica. Aleshores la formula va quedar de la següent manera per a un motor de tipus glow (encesa per filament incandescent):

$$Cf = \left[\left(\frac{99}{Pd} \right)^\alpha * \left(\frac{Tc+273}{298} \right)^\beta \right]^{Fm} \quad (\text{eq. 3})$$

On:

Cf = Factor de correcció

Pd = Pressió de l'aire sec en milibars

Tc = Temperatura ambient en graus centígrads

$\alpha = 1$ (segons taula 5 de document SAE J1349)

$\beta = 0,7$ (segons taula 5 de document SAE J1349)

Fm = 0,3 (segons document SAE J1349)

Aquest estàndard és vàlid per pressions atmosfèriques compreses entre 0,950 i 1,010 bar (950 a 1010 hectopascals), i temperatures compreses entre 15 i 35 °C.

Per un motor amb encesa per espurnes, l'equació és la següent (eq. 4):

$$Cf = \left[\left(\frac{99}{Pd} \right) * \left(\frac{Tc+273}{298} \right)^{0,5} \right] \quad (\text{eq. 4})$$

On:

Cf = Factor de correcció

Pd = Pressió de l'aire sec en milibars

Tc = Temperatura ambient en graus centígrads

S'ha escollit aquest estàndard ja que s'aplica a la sortida del motor, sense cap mena d'accessori aplicat al motor, i aquestes condicions són les que més s'assemblen a les que podem aplicar als motors de modelisme. La norma SAE J1340 és per motors de cilindrada inferior als 1000 centímetres cúbics, però, després de consultar amb l'organisme SAE em van recomanar la SAE J 1349 ja que la J1340 és millor per motors que funcionen a un règim de rpm baix (tractors petits, maquinaria de tallar gespa, etc),

2.3.2 – Càlcul de la pressió de l'aire sec (Pd)

$$Pd = \text{Pressió absoluta} - \text{Pressió de vapor}^1 \quad (\text{eq. 5})$$

1 – Càlcul de la temperatura de rosada

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * (112 + 0,9T) + 0,1T - 112^2 \quad (\text{eq. 6})$$

On : Pr Temperatura del punt de rosada

T Temperatura em °C

H humitat relativa

¹ Font : http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_virtual

² Font : http://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_roc%C3%ADo

2– El càlcul de la pressió absoluta en hectopascals en funció de la pressió atmosfèrica en hectopascals i la altitud en metres es calcula segons l'equació

$$Press\ Abs = 0,3 + (pressio^{k1} - (altitud * k2))^{1/k1} \quad 3 \quad (eq. 7)$$

On:

$$k1 = 0.190284$$

$$k2 = 8.4288 * 10^{-5}$$

3 – La pressió de vapor a partir de la temperatura de rosada es calcula mitjançant l'equació 8

$$PV = \frac{6,1078 * 10^{7,5 * t}}{237,3 + tc} \quad 4 \quad (eq. 8)$$

On:

PV = Pressió de vapor

t = temperatura de rosada en °C

2.4 – Efectes atmosfèrics sobre les hèlix

Igual que succeeix amb els motors de combustió, la variació de les condicions atmosfèriques afecta al funcionament de les hèlix ja que modifiquen la densitat de l'aire. Quan més dens és l'aire més dificultat té l'hèlix per desplaçar-lo i, de la mateixa manera, quant més fluid és l'aire menys dificultat tindrà l'hèlix per desplaçar-lo.

³ Font : view-source:<http://www.fastnuf.com/EngineTune.html>

⁴ Font : view-source:<http://www.fastnuf.com/EngineTune.html>

2.4.1 – Càlcul de la densitat de l'aire

Per calcular la densitat de l'aire s'ha utilitzat la formula CIPM-2007 en la seva versió simplificada exponencial:

$$\rho = \frac{(0,34848 * p) - (0,009 * hr) * e^{0,061 * t}}{t + 273,15} \quad (\text{eq. 9})$$

On:

ρ	Densitat de l'aire en kg/m ³
p	Pressió atmosfèrica en hPa
hr	Humitat relativa de l'aire en %
t	Temperatura ambient en °C

Aquesta formula és vàlida per les següents condicions atmosfèriques:

Pressió atmosfèrica entre 600hPa i 1100hPa

Humitat relativa entre 20% i 80%

Temperatura ambient entre 15°C i 27°C

3 – FONAMENTS TEORICS

3.1 - Definicions

Parell motor: Es una magnitud física que representa la capacitat d'un motor per produir un treball. En un motor d'explosió el cigonyal converteix el moviment alternatiu de pujada i baixada del pistó en un moviment rotatiu. En unitats del sistema internacional el parell motor es mesura en Newtons/metre. El parell motor depèn de la velocitat de gir del motor, la força de les explosions depèn de la quantitat de combustible que admet la cambra de combustió del cilindre. Amb el parell que dona un motor a cada velocitat de rotació s'obté la corba de parell. El parell motor en unitats del sistema internacional es mesura en Newtons per metre [N·m].

Potència: La potència es defineix com el treball ò l'energia desenvolupats per unitat de temps. En unitats del sistema internacional la potència es mesura en Watts. La potencia del motor s'obté, en qualsevol règim de revolucions per minut, multiplicant el parell motor per la velocitat angular. El parell motor, que correspon a la força desenvolupada durant la rotació, assoleix el valor màxim a unes determinades revolucions per minut (inferior al de la potència màxima), a partir del qual disminueix al reduir-se també el rendiment volumètric del motor. Per sobre de les revolucions de parell màxim, el parell motor disminueix, però, com que la velocitat angular segueix creixent aleshores la potencia segueix creixent fins a unes determinades revolucions per minut, a partir de les quals el increment de revolucions no compensa la disminució del parell; en aquest punt s'assoleix la potència màxima. En unitats del sistema internacional la potència es mesura en Watts [W].

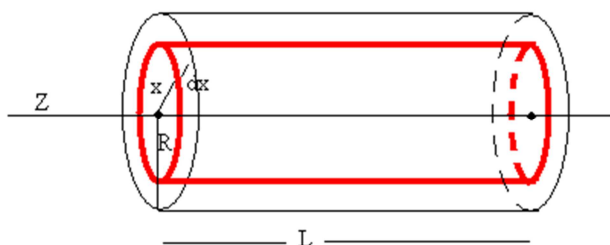
Moment d'inèrcia: El moment d'inèrcia es la oposició que fa un sòlid rígida a que es modifiqui la seva velocitat de rotació. Depèn de la geometria del sòlid, i de com es distribueix la massa al llarg del cos i depèn també respecte de quin punt es calculi. En unitats del sistema internacional el moment d'inèrcia es mesura en Newtons*metre quadrat [$\text{N}\cdot\text{m}^2$].

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, per mesurar el parell motor es farà servir el mètode del dinamòmetre inercial, és a dir, un volant d'inèrcia acoblat a l'eix del motor i mesurant els increments de revolucions respecte del temps que tarda en produir-se aquest increment. Es farà servir el mètode inercial degut a la seva repetitivitat i la invariabilitat de les característiques del volant d'inèrcia durant el procés de mesura. El parell motor a cada règim de revolucions per minut és una relació física entre la acceleració angular i el moment d'inèrcia propi del volant d'inèrcia utilitzat per al test. D'altra banda, la potència del motor s'obté també mitjançant el parell motor obtingut anteriorment i la velocitat angular.

3.2 – Càlculs

3.2.1 – Moment d'inèrcia d'un cilindre

Moment d'inèrcia d'un cilindre de massa M , radi R i longitud L respecte del seu eix:



IMG15 – Eixos i dimensions d'un cilindre

Prenent un element de massa M que està a una distància x de l'eix de rotació. El element és una capa cilíndrica amb radi interior x , exterior $x+dx$, i de longitud L , com es mostra a la figura. La massa dm que conté aquesta capa és:

$$dm = \frac{M}{\pi \cdot R^2 \cdot L} * 2\pi * x * dx * L = \frac{2M}{R^2} * x * dx \quad (\text{eq. 10})$$

I el moment d'inèrcia del cilindre és:

$$I_c = \int x^2 * dm = \int_0^R \frac{2M}{R^2} * x^3 * dx = \frac{1}{2}MR^2 \quad (\text{eq. 11})$$

- Necessitem saber el moment d'inèrcia del disc de diàmetre exterior \underline{D} , diàmetre interior \underline{d} i gruix \underline{X} (radis R i r)

$$\text{Volum del disc} = (R - r) * \pi * X \quad [\text{c. c.}] \quad (\text{eq. 12})$$

$$\text{Massa del disc} = \text{Volum del disc} * \text{Pès específic} \quad [\text{Kg}] \quad (\text{eq. 13})$$

$$\text{Moment d'inèrcia del disc } (J) = \left(\frac{M}{2}\right) * (r^2 + R^2) \quad [\text{Kg} \cdot \text{m}^2] \quad (\text{eq. 14})$$

3.2.2 – Acceleració angular del volant d'inèrcia

La acceleració angular en un interval de temps serà:

$$\alpha = \frac{(V_f - V_o) * 2 * \pi}{60 * \text{temps}} \quad [\text{rad} / \text{s}^2] \quad (\text{eq. 15})$$

on el temps és el interval en que es realitzen les medicions (250ms)

3.2.3 – El parell motor

El parell motor serà doncs, el producte del moment d'inèrcia per la acceleració angular. Les unitats son Newton*metre

$$T = J * \alpha \quad [N \cdot m] \quad (\text{eq. 16})$$

3.2.4 – La potència

La potencia es calcula a partir del parell motor (T) calculat abans.

$$\text{Potència (P)} = \frac{T * \Delta RPM * 2\pi}{60} \quad [HP] \quad (\text{eq. 17})$$

$$\text{Potència (P)} = \frac{T * \Delta RPM * 2\pi}{60 * 735,5} \quad [Watt] \quad (\text{eq. 18})$$

3.2.5 – Tracció d'una hèlix

En una hèlix podem mesurar dos tipus de tracció: la tracció dinàmica i la tracció estàtica. La tracció estàtica és la que podríem mesurar quan l'hèlix gira sense desplaçar-se. La tracció dinàmica és la que mesuraríem per exemple en un túnel de vent ò muntada en un avió. En aquest projecte només es mesurarà la tracció estàtica.

Són diversos els paràmetres calculables d'una hèlix, tal i com es pot veure en els apartats següents. Alguns d'aquests paràmetres no s'utilitzen en el present projecte degut a que són paràmetres dinàmics (hèlix en desplaçament) ò són factors que depenen de la potència.

3.2.5.1 – Estimació de la tracció estàtica

Es possible fer una estimació de la tracció estàtica d'una hèlix. Segons Chen Mingtai, en el seu document “*Static Thrust Measurement for Propeller-driven Light Aircraft*” [6] (pag 651 apartat c), l'estimació de la tracció estàtica d'una hèlix es pot calcular mitjançant la següent equació (eq.19):

$$Ts = 1,283 * 10^{-12} * RPM^2 * D^4 * \rho * K_t \quad (\text{eq. 19})$$

On:

Ts	Tracció estàtica en Kg
RPM	Revolucions Per Minut a que gira l'hèlix
ρ	Densitat de l'aire en kg/m ³
D	Diàmetre de l'hèlix en polzades
Kt	Coeficient de tracció estàtica. Val aprox. 0,73

3.2.5.2 – Pas relatiu de l'hèlix

El pas relatiu Pr d'una hèlix és la relació entre el diàmetre de l'hèlix i el seu pas, tal i com mostra l'equació 20. Hèlix amb dissenys diferents ò amb un número de pales diferent poden tenir un mateix pas relatiu (Pr). Es un paràmetre adimensional.

$$Pas \text{ Relatiu } (Pr) = \frac{Diàmetre \text{ hèlix}}{Pas \text{ hèlix}} \quad ^5 \quad (\text{eq. 20})$$

3.2.5.3 – Relació d'avanç

Com es pot concloure de la equació 23, la relació d'avanç indica la rapidesa amb que avança un avió en relació amb la velocitat de gir de l'hèlix.

⁵ Font : <http://www.mh-aerotools.de/airfoils/propuls3.htm>

$$Ar = \frac{V}{RPM * D} \quad 6 \quad (\text{eq. 23})$$

On:

Ar	Relació d'avanç
V	Velocitat de vol en m/s
RPM	Velocitat de rotació de l'hèlix en RPM
D	Diàmetre de l'hèlix en metres

3.2.5.4 – Velocitat de vol estimada

Es possible fer una estimació de la velocitat de vol que tindria un avió amb una hèlix girant a unes RPM determinades. Cal dir que aquesta estimació no té en compte el pes del motor que la fa girar, ni el pes de l'avió on va muntada ni les característiques aerodinàmiques de l'avió, això em fa arribar a la conclusió de que la velocitat de vol real estaria molt per sota d'aquest valor. L'estimació de la velocitat de vol es pot calcular mitjançant l'equació 26:

$$Ve = \frac{V * P}{1000} \quad 7 \quad [\text{Km/h}] \quad (\text{eq. 26})$$

On:

Ve	Velocitat de vol estimada en Km/h
V	RPM de gir de l'hèlix
P	Pas de l'hèlix en metres

⁶ Font : <http://www.mh-aerotools.de/airfoils/propuls3.htm>

⁷ Font : [view-source:http://personal.osi.hu/fuzesisz/strc_eng/](http://personal.osi.hu/fuzesisz/strc_eng/)

4 – ESPECIFICACIONS

- Ha de ser per motors de combustió interna de modelisme.
- Ha de servir tant per motors glow com per motors amb encesa per espurnes.
- S'hi ha de poder muntar motors de diferents cubicatges i mides.
- Ha de ser un sistema automàtic.
- Ha d'obtenir les dades necessàries per poder conèixer la potència i el parell motor a diferents règims de revolucions per minut.
- Ha de poder mesurar la tracció d'una hèlix instal·lada en un motor.
- Els resultats obtinguts s'han de mostrar gràficament.
- Ha de permetre la comparació de diferents tests.
- Ha de poder ser escalable.
- El conjunt del sistema ha de preveure possibles ampliacions futures.

Degut a la diferent naturalesa de les mesures que es volen fer (potència i tracció), es dissenyaran dues bancades diferents; una per poder mesurar el parell motor i la potència d'un motor i l'altra per poder mesurar la tracció.

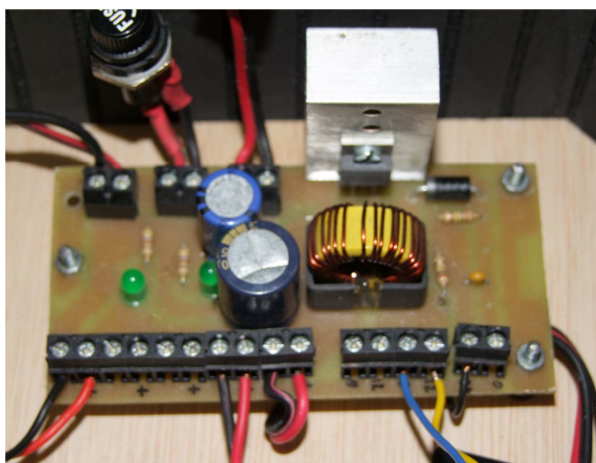
5 – ELECTRONICA DE CONTROL

L'electrònica de control es divideix en els següents blocs:

- Font d'alimentació
- Circuit principal de control
- Control de servo de radiocontrol
- Sensors de revolucions
- Convertidor de senyals TTL a RS232
- Convertidor analògic digital del sensor de tracció

5.1 – Font d'alimentació

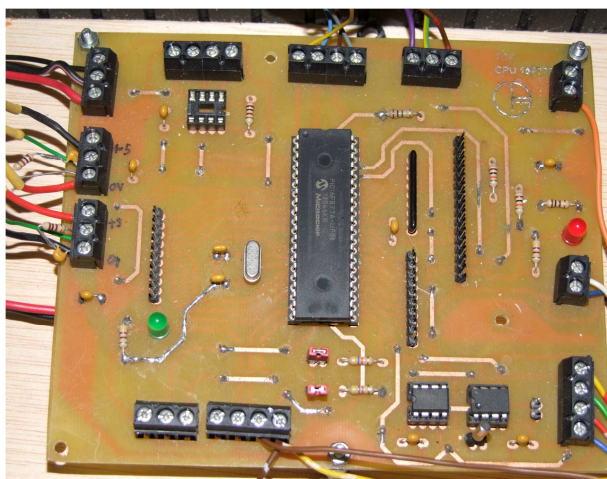
La font d'alimentació dissenyada permet que l'electrònica del sistema es pugui alimentar des d'una bateria tipus LiPo capaç de donar una tensió de mínim 12Volts. Donada la naturalesa dels tests i del nivell de risc que suposen es dona per suposat que es realitzaran a l'aire lliure on no es disposarà de 230Vac, per això no s'ha previst poder-ho alimentar des de la xarxa elèctrica. La font dissenyada té sortides de 5V i de 12V regulats, i utilitza el regulador model LM2576-5.0 d'alt rendiment i baixa caiguda de tensió.



IMG16 – Imatge de la font d'alimentació

5.2 – Circuit principal de control

El nucli del circuit principal de control és un PIC 16F877A. S'ha escollit aquest model per la seva capacitat de memòria, amb comunicació sèrie RS232 i comunicació I2C. Que la CPU disposés de bus I2C era important ja que alguns circuits estaran allunyats per tal d'estar muntats a les bancades de proves, i cal poder-hi comunicar per enviar i rebre dades. També havia de ser re-programable amb facilitat (ICSP) i disposar de convertidors analògics/digitals.



IMG17 – Imatge de la plac CPU principal

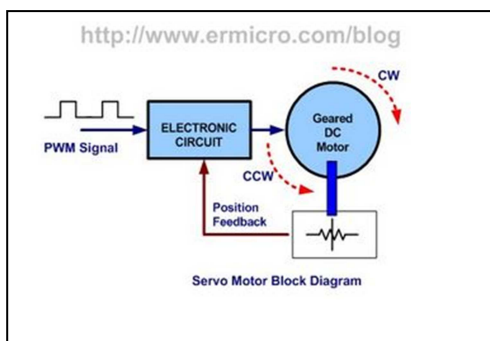
5.3 – Control de servo de radiocontrol

Per tal de poder controlar el motor i accelerar-lo o desaccelerar-lo en els tests s'utilitza un servo dels que es fan servir habitualment en modelisme. Aquests servos es controlaran des d'un PIC 16F690 que rebrà les ordres des del microprocessador principal mitjançant el bus I2C, les interpretarà i farà moure el servo en conseqüència. S'ha destinat un PIC 16F690 específicament per moure els servos ja que aquests es controlen per PWM (Pulse Width Modulation) i requereixen rebre constantment aquest senyal. De no rebre

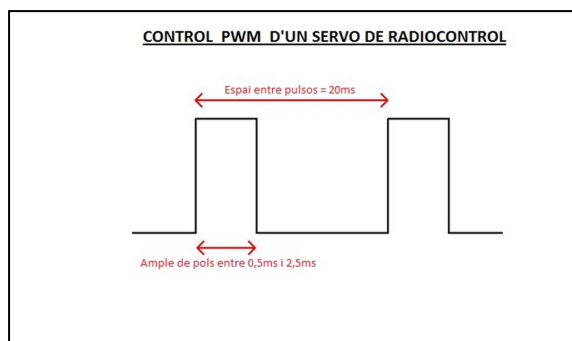
sempre aquest senyal PWM queden sense control i poden moure's de manera no desitjada.

5.3.1 – Funcionament d'un servo de radiocontrol

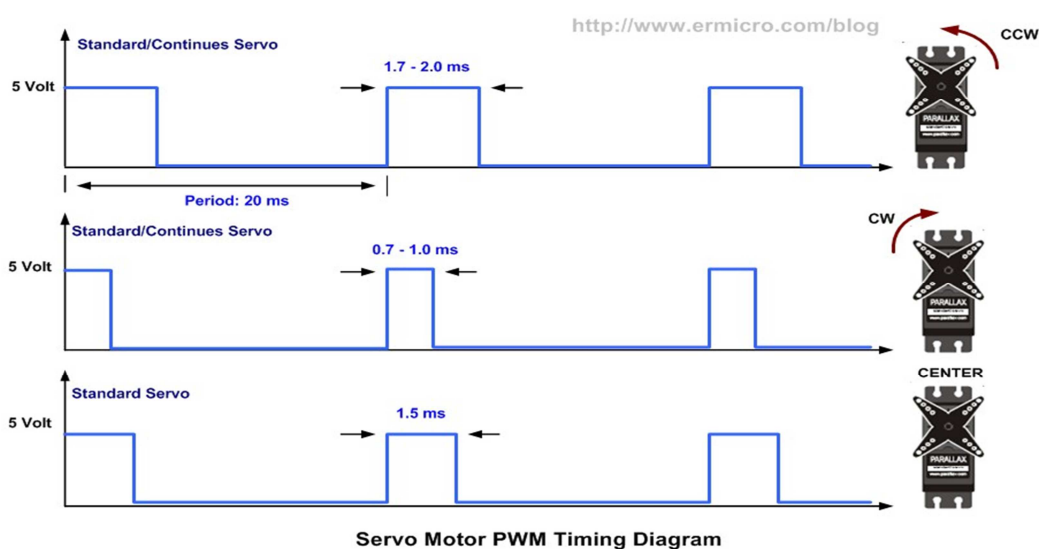
Un servo de radiocontrol es controla enviant cada 20 milisegons un pols d'una durada d'entre 0,5 milisegons i 2,5 milisegons. Segons l'amplada del pols el servo gira en un sentit ò un altre.



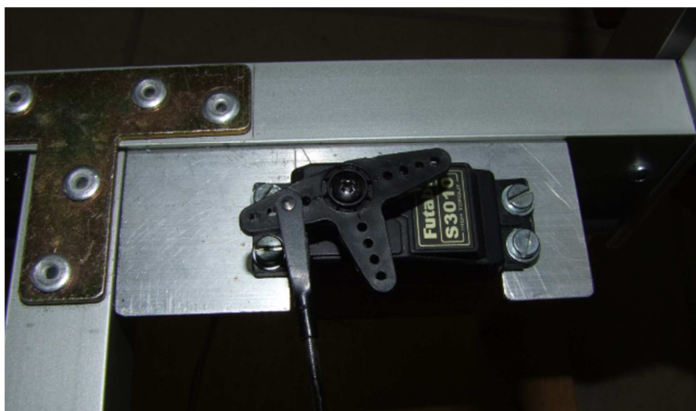
IMG18 – Diagrama d'un servo de radiocontrol



IMG19 – Polsos de control d'un servo



IMG20 – Polsos de control d'un servo



IMG21 – Servo del control de gas de la bancada de tracció

5.4 – Sensors de revolucions

Les dues bancades de proves requereixen un tipus de sensor diferent tot i que el principi de funcionament és el mateix, la interrupció d'un raig de llum.

5.4.1 – Sensors de revolucions del banc de tracció

Inicialment s'havia previst dissenyar un sensor d'infraroigs per reflexió però diferents inconvenients varen desestimar aquest sistema:

- Hi ha hèlix de color negre, per tant absorbeixen tota la llum, i posar un tros de cinta que no fos de color negre hauria produït vibracions.
- A altes revolucions l'hèlix es deforma i desviaria la llum reflectida i el receptor no detectaria el senyal.
- Per compensar el efecte anterior calia posar el sensor molt proper a l'hèlix, amb els riscos que això comporta.

Vaig decidir doncs dissenyar un sensor que funcionés per interrupció d'un raig de llum infraroja. La llum infraroja està modulada a l'emissor a una freqüència de 56KHz, i la interrupció ò no per l'hèlix genera uns polsos a la sortida del receptor que són mesurats pel circuit principal de control per calcular les RPM.



IMG22 – Vista general del sensor IR per mesurar les RPM de l'hèlix i el suport.



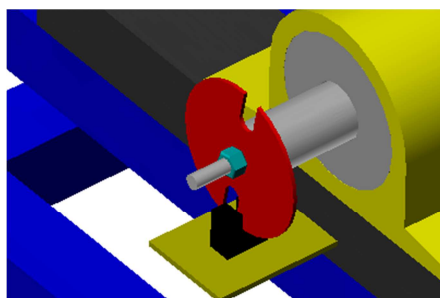
IMG23– Vista del sensor IR per mesurar les RPM de l'hèlix



IMG24– Vista de l'emissor IR per mesurar les RPM de l'hèlix

5.4.2 – Sensors de revolucions del banc de potència i parell

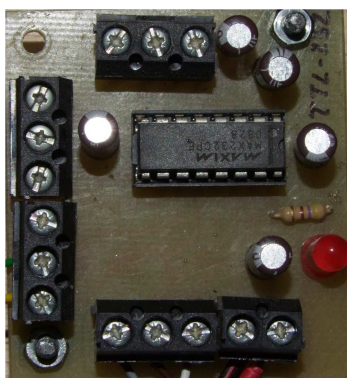
El sensor del banc de potència i parell funciona també per interrupció d'un raig de llum infraroja, però en aquest cas està tot integrat en un únic component. Un disc amb forats muntat a l'extrem de l'eix del volant d'inèrcia interromp o no el raig, generant uns polsos que el circuit principal de control fa servir per calcular les RPM.



IMG25– Vista del sensor de RPM del banc de potència

5.5 – Convertidor de senyals TTL a RS232 i USB

Per tal de poder comunicar el microprocessador principal amb el PC que fa la adquisició i procés de dades cal convertir els senyals TTL de les dades a nivells compatibles amb el protocol RS232. Això s'ha fet mitjançant el popular circuit integrat MAX232. S'ha dissenyat de manera que, si és necessari, un altre PIC dels que incorpora el sistema es pugui comunicar amb l'exterior. Per connectar l'electrònica a un ordinador tipus PC que no disposi d'interfície RS232 cal utilitzar un adaptador qualsevol de RS232 a USB del mercat.

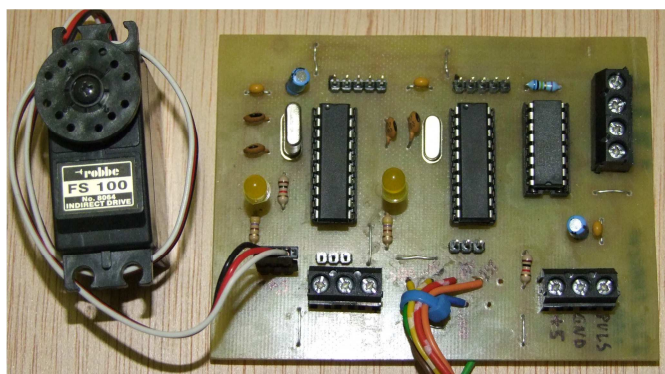


IMG26– Vista del convertidor de senyals TTL / RS232

5.6 – Convertidor analògic digital del sensor de tracció

Per mesurar la tracció de l'hèlix s'ha escollit una cèl·lula de càrrega de 5Kg, amb una sortida de 1mV/V. Aquesta cèl·lula incorpora un pont de Wheatstone i es connecta a un amplificador d'instrumentació amb un guany de 6000.

Un altre PIC 16F690 converteix el senyal analògic procedent de l'amplificador d'instrumentació a un senyal digital, del qual n'envia el valor pel bus I2C quan el circuit principal de control li ho demana.



IMG27– Imatge del controlador de servo i convertidor ADC de la tracció

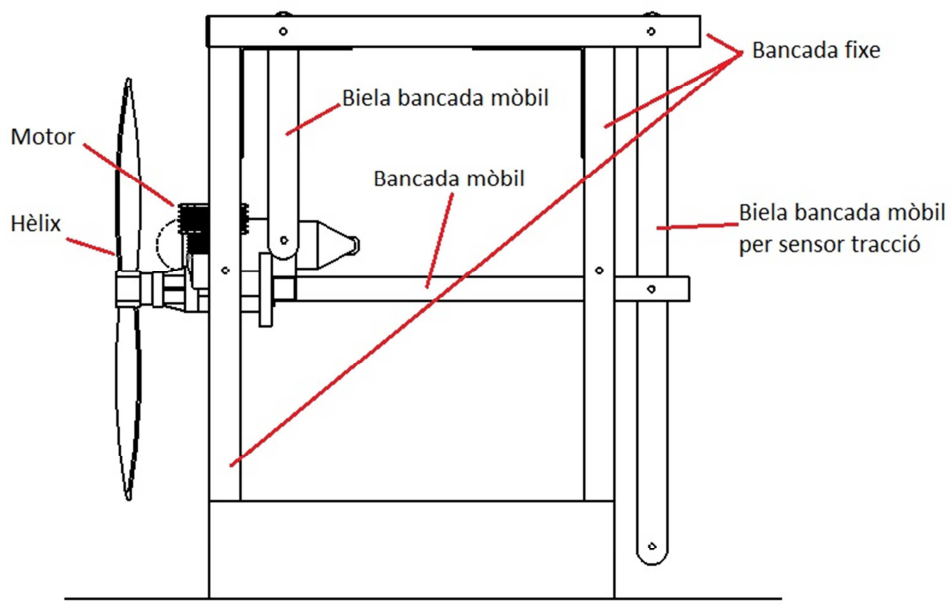
6 – BANC DE PROVES DE TRACCIO

L'inconvenient principal de mesurar la tracció d'un motor d'explosió de modelisme són les vibracions. Habitualment són motors de 1 cilindre i per tant a poques revolucions generen força vibracions, i en el rang de revolucions de funcionament és fàcil que el propi banc de proves generi vibracions per ressonància. Es pot dir que gairebé no hi ha informació a la xarxa sobre aquest tipus de tests en motors d'explosió, però sí que n'hi ha per motors elèctrics, doncs gairebé no generen vibracions i la seva tracció pot ser gairebé constant a rpm constants. Un altre inconvenient dels motors glow utilitzats habitualment en modelisme és la inestabilitat de les revolucions. Aquests motors són inestables degut a la simplicitat de disseny del seu carburador, i també al tipus de encesa. Els motors d'encesa per espurna són totalment estables en tota la seva gama de revolucions de funcionament. Aquests inconvenients fan que no hi hagi (ò al menys no s'ha trobat informació) bancs per mesurar la tracció en motors d'explosió.

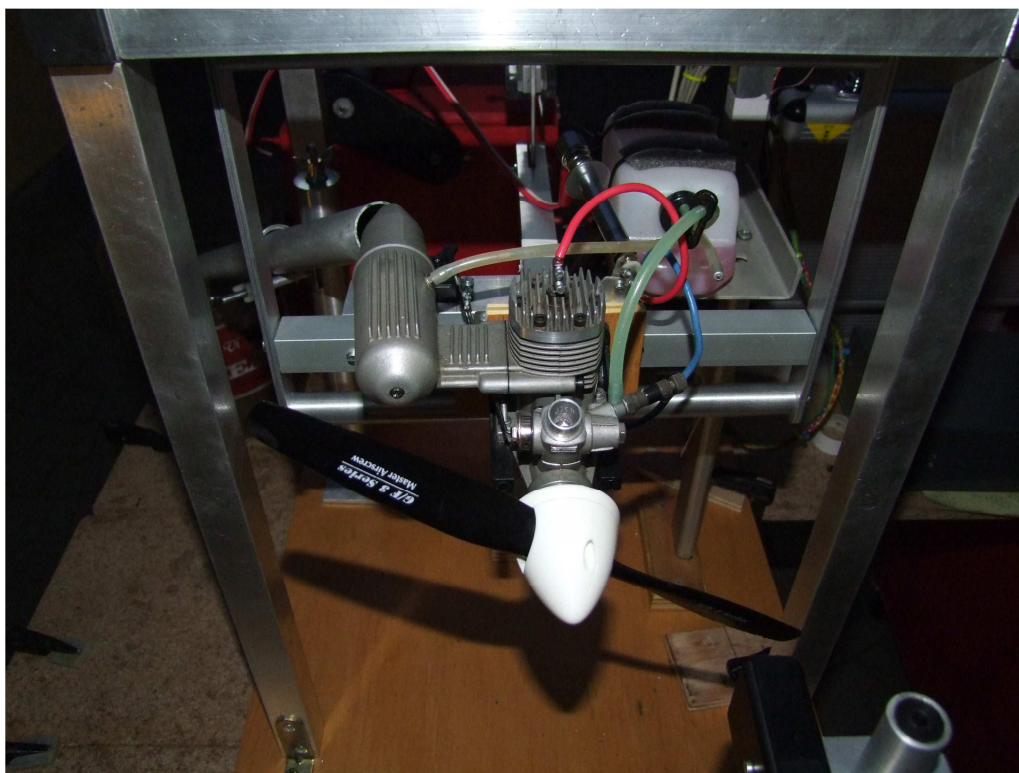
Una de les especificacions de disseny d'aquesta bancada és que s'hi ha de poder muntar motors de diferents cubicatges i mides. Aquesta bancada s'ha dissenyat per poder suportar motors des de 0,46 polzades cúbiques fins a aproximadament 1,2 polzades cúbiques (7cc fins a aproximadament 20cc). *(Nota: En els motors de modelisme el cubicatge es mesura en polzades cúbiques. 1 polzada cúbica = 16,387 centímetres cúbics).*

Davant la incertesa de quina tracció pot tenir una hèlix, cal que la força aplicada sobre la cèl·lula de càrrega es pugui amplificar ò reduir i poder utilitzar la mateixa cèl·lula per diferents motors i hèlix.

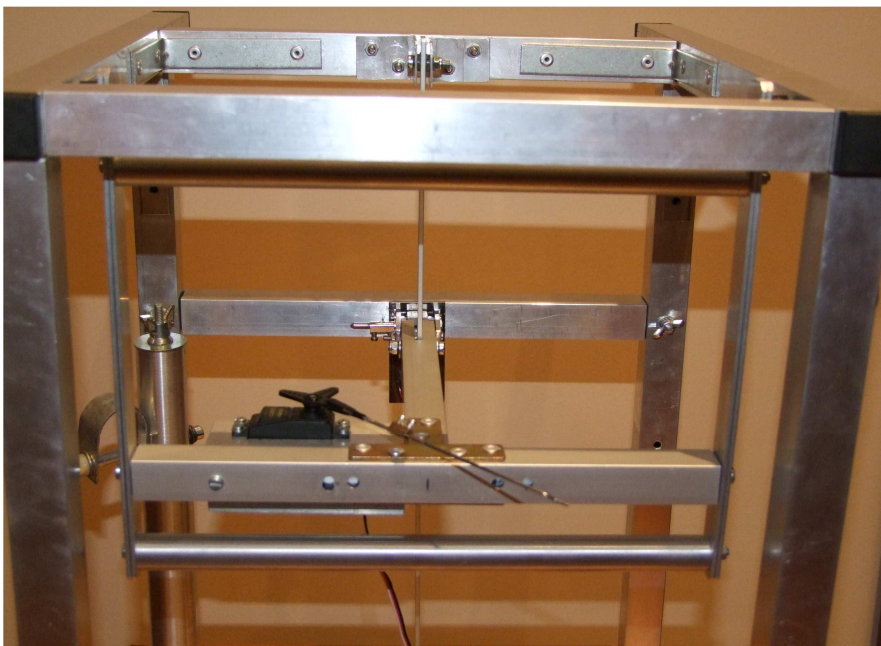
Aquest conjunt de condicionants ha portat a un disseny de tipus gronxador, tal i com es mostra a les imatges següents:



IMG28– Esquema de la bancada de tracció



IMG29– Vista frontal d'un motor muntat a la bancada de tracció



IMG30– Vista frontal de la bancada de tracció sense motor



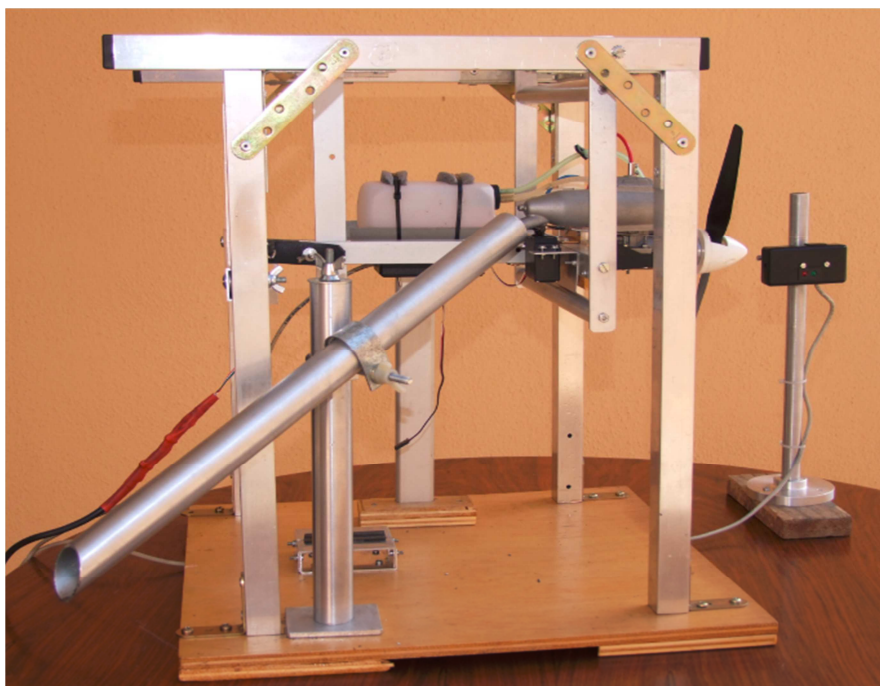
*IMG31– Vista de la unió de la cèl·lula de càrrega a la part mòbil de la bancada de tracció
(Relació ≤ 1)*



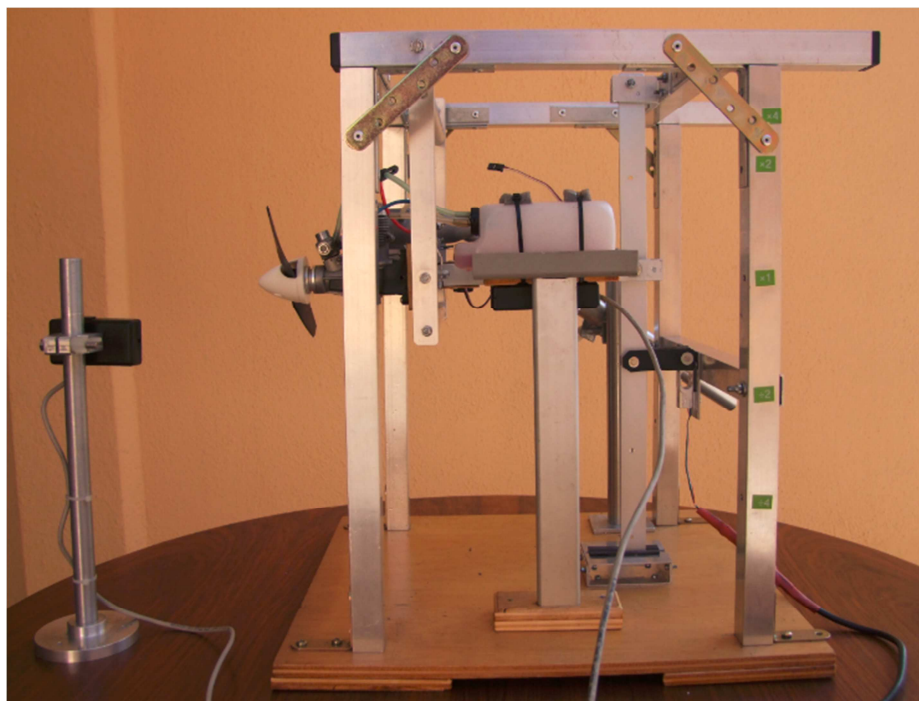
IMG32– Detall de la part mòbil de la bancada de tracció



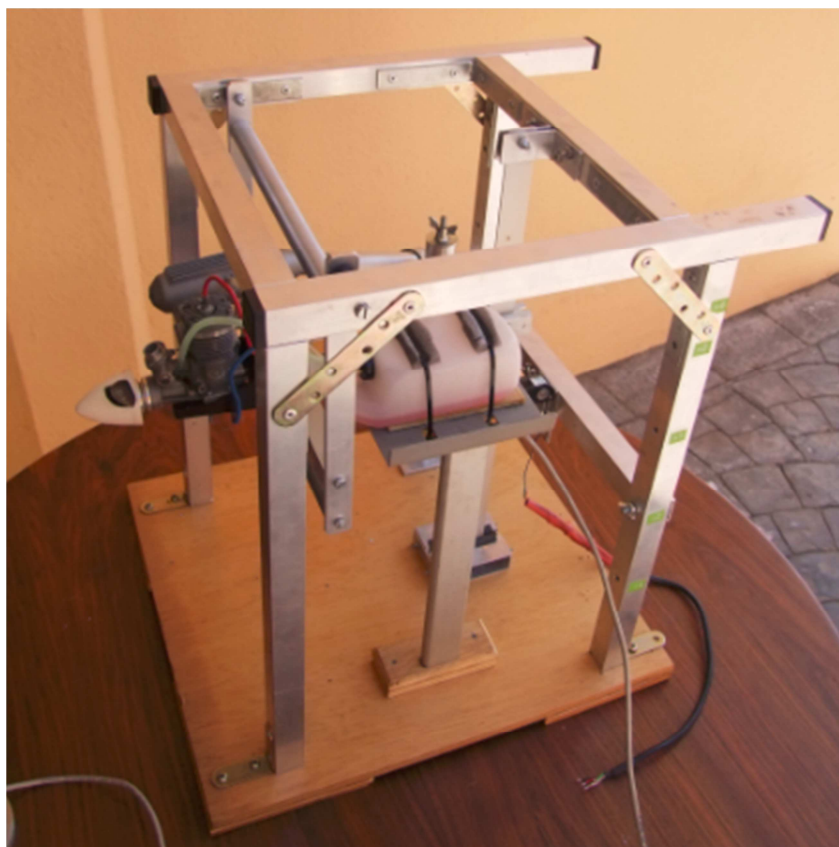
*IMG33– Vista de la unió de la cèl·lula de càrrega a la part mòbil de la bancada de tracció
(Relació = 1)*



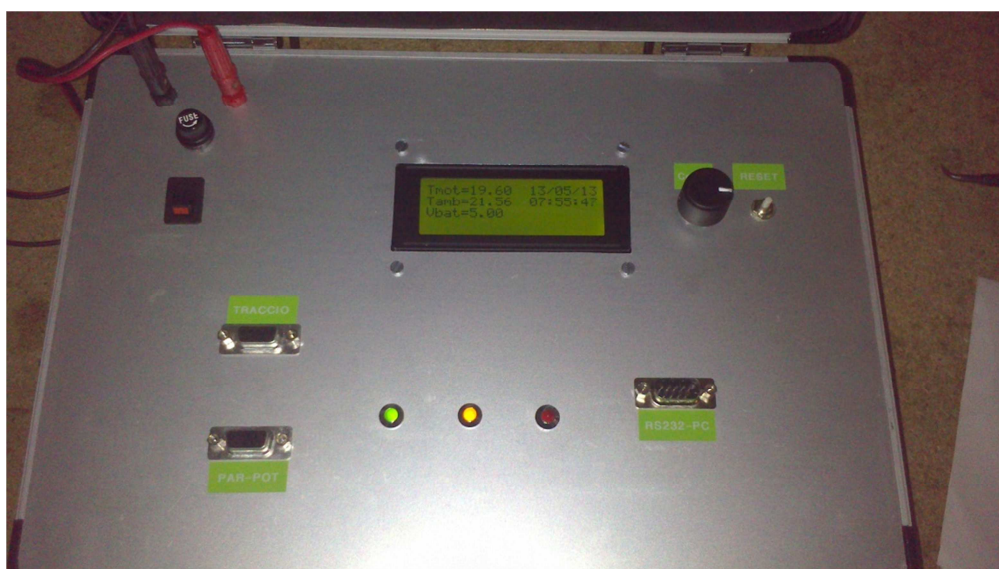
IMG34– Vista pel costat dret de la bancada de tracció



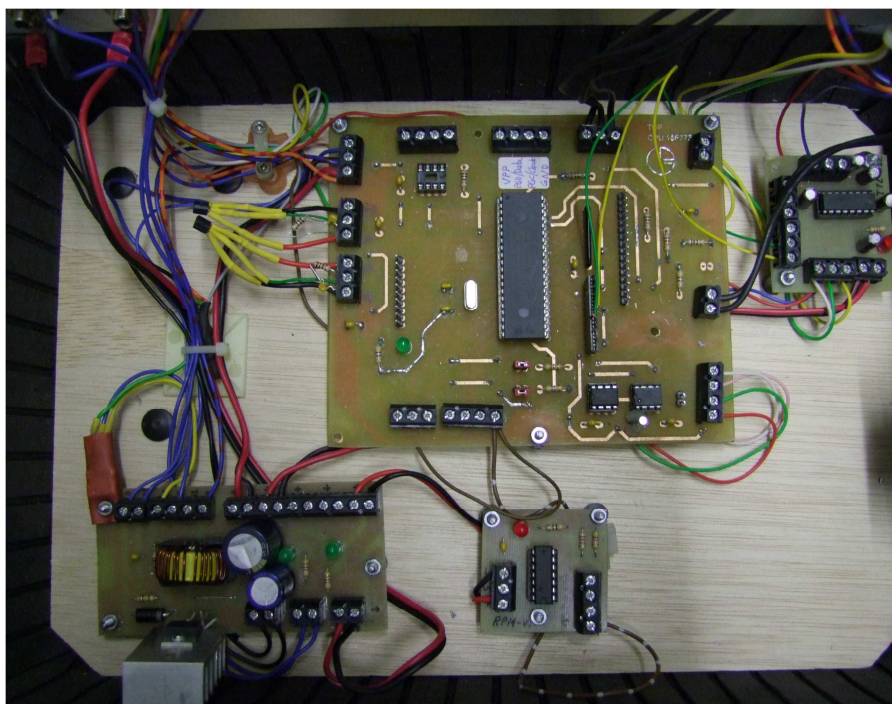
IMG35– Vista pel costat esquerre de la bancada de tracció



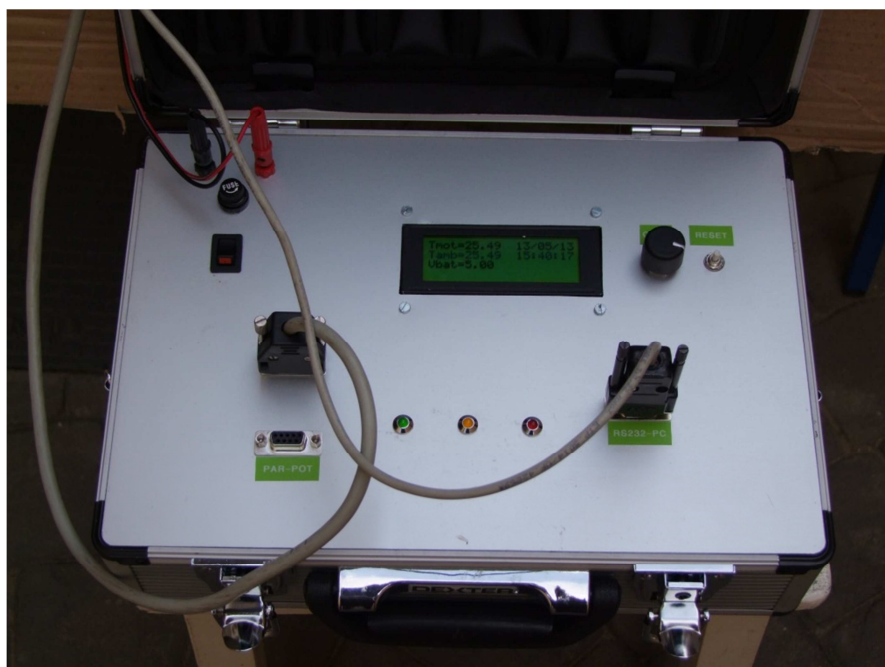
IMG36– Vista pel costat esquerre i picat de la bancada



IMG37– Vista del panell frontal del maletí que conté la electrònica



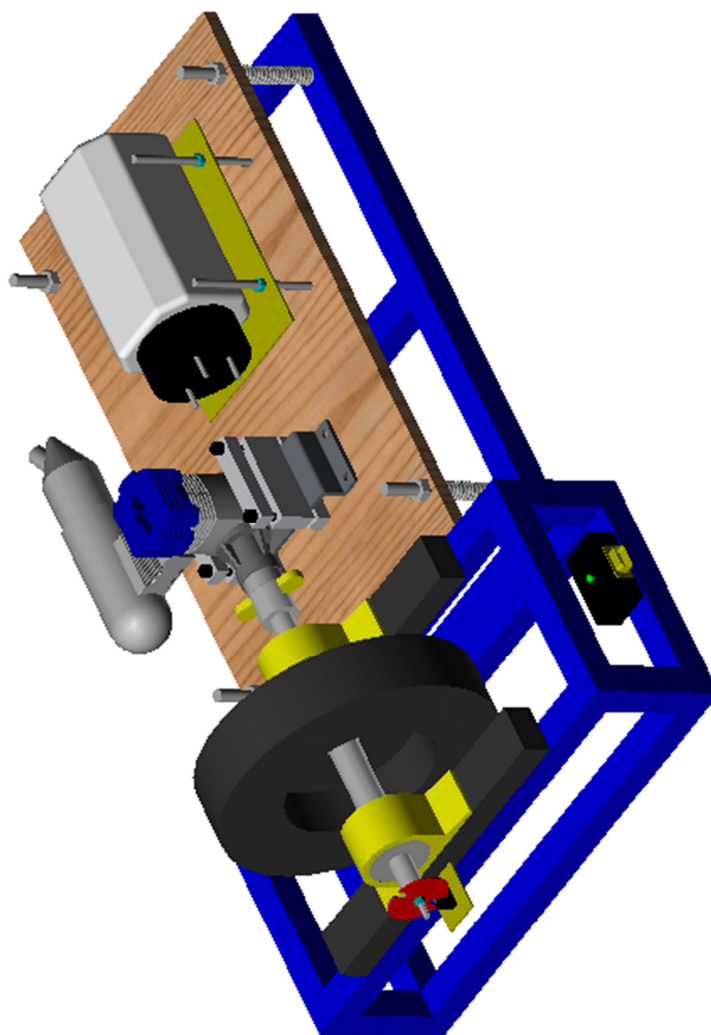
IMG38– Vista de l'electrònica a l'interior de la maleta



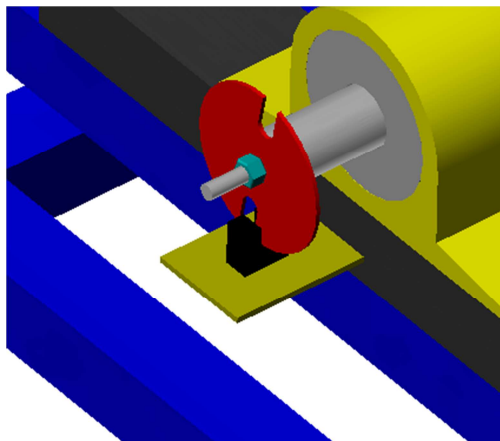
IMG39– Vista de la maleta connectada

7 – BANC DE PROVES DE PARELL I POTENCIA

Tal i com s'ha explicat anteriorment, Per motius econòmics i de temps, s'ha decidit aplaçar el dinamòmetre inercial per una segona fase, tot i que s'ha desenvolupat la electrònica corresponent i el software d'adquisició de dades està preparat i verificat. A continuació es mostra un croquis de com serà el dinamòmetre quan es construeixi.



IMG40– Projecte de la bancada per realitzar el test de parell i potència



IMG41– Croquis del sensor de RPM del dinamòmetre inercial

8 – SOFTWARE D'ADQUISICIO DE DADES

El software dissenyat s'ha plantejat de manera que l'usuari tingui el màxim d'eines al seu abast disponibles en un mateix software. El software ha estat desenvolupat en Visual Basic .NET, ja que és el llenguatge de que es disposa per desenvolupar aplicacions en entorn Windows, a part de ser un llenguatge molt flexible.

Aquest capítol no pretén ser un manual de l'usuari del software, doncs podria ser molt extens. Es donarà una breu explicació de cada funció i, on calgui es donarà una explicació detallada.

El software s'ha dividit en 5 grans blocs a la seva pantalla principal:

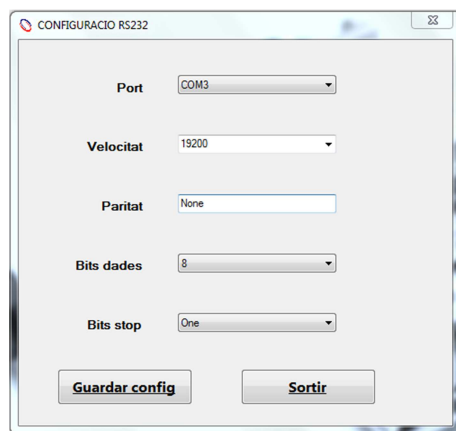
- Test de motors
- Configuració dels tests
- Eines
- Ajustos de la aplicació
- LListats
- Info

8.1 – Configuració de l'aplicació

En aquest bloc d'opcions hi ha aspectes configurables tant de tipus opcional com pot ser l'aspecte d'algunes pantalles de l'aplicació com alguns paràmetres necessaris com poden ser els del port sèrie.

8.1.1 – Configuració del port sèrie

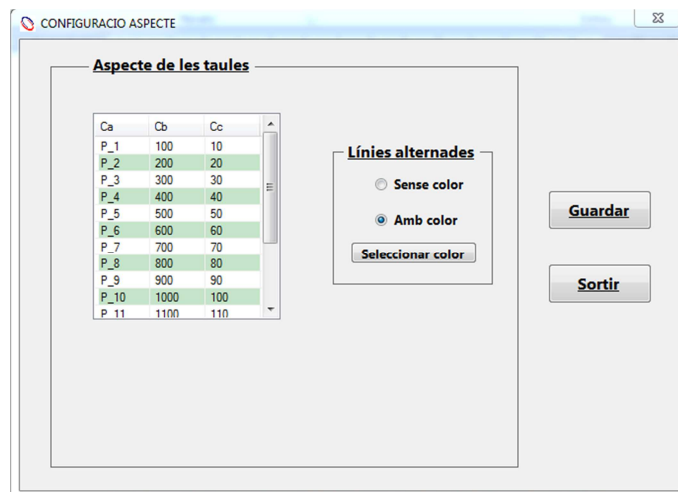
Es indispensable configurar correctament la velocitat, paritat, bits de start i de stop del bus de comunicacions RS232. El hardware està configurat a 19200 bits per segon, dades de 8 bits, sense paritat i amb només un bit de stop. Cal ajustar aquests paràmetres al iniciar la aplicació per primera vegada.



IMG42– Pantalla de configuració del port sèrie

8.1.2 – Configuració de l'aspecte

L'aparença de les taules és configurable. Per tal de diferenciar fàcilment les línies de dades de les taules, es pot seleccionar el colors de fons que s'alternarà amb el blanc. No és obligatori que les taules tinguin colors alternats, pot ser totalment blanca.



IMG43– Configuració de l'aspecte de les taules de dades

8.1.3 – Data i hora

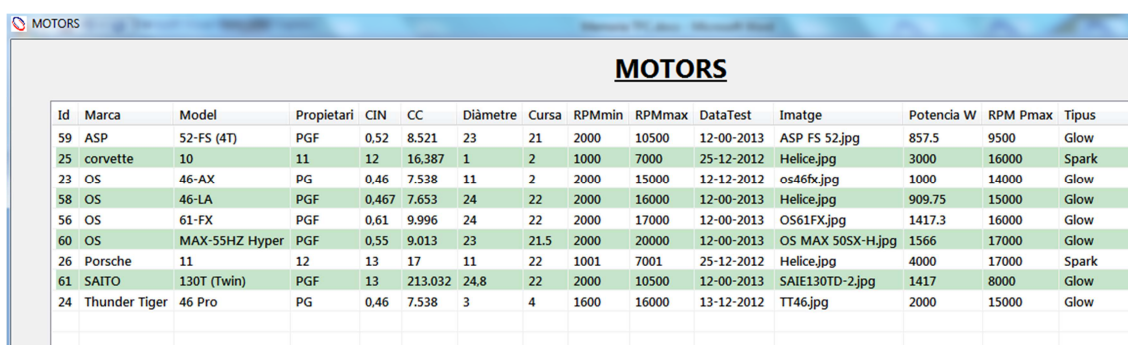
L'equip electrònic disposa d'un rellotge en temps real, aquest rellotge caldrà posar-lo a l'horari d'estiu ò d'hivern quan pertoqui. Aquesta opció simplement fa un enviament de la data i hora del sistema cap al controlador electrònic principal per tal de posar-lo a l'hora.

8.2 – Configuració dels tests

Aquest bloc d'opcions agrupa la informació necessària per tal de poder efectuar un test.

8.2.1 – Configuració dels motors

Per tal de poder efectuar un test, prèviament cal donar d'alta el motor en l'aplicació i introduir les dades corresponents. Es permet la modificació de dades de motors ja existents, per això abans de donar d'alta el motor apareix la llista de motors ja existents.



MOTORS														
Id	Marca	Model	Propietari	CIN	CC	Diàmetre	Cursa	RPMmin	RPMmax	DataTest	Imatge	Potencia W	RPM Pmax	Tipus
59	ASP	52-FS (4T)	PGF	0,52	8.521	23	21	2000	10500	12-00-2013	ASP FS 52.jpg	857.5	9500	Glow
25	corvette	10	11	12	16.387	1	2	1000	7000	25-12-2012	Helice.jpg	3000	16000	Spark
23	OS	46-AX	PG	0,46	7.538	11	2	2000	15000	12-12-2012	os46fx.jpg	1000	14000	Glow
58	OS	46-LA	PGF	0,467	7.653	24	22	2000	16000	12-00-2013	Helice.jpg	909.75	15000	Glow
56	OS	61-FX	PGF	0,61	9.996	24	22	2000	17000	12-00-2013	OS61FX.jpg	1417.3	16000	Glow
60	OS	MAX-55HZ Hyper	PGF	0,55	9.013	23	21.5	2000	20000	12-00-2013	OS MAX 50SX-H.jpg	1566	17000	Glow
26	Porsche	11	12	13	17	11	22	1001	7001	25-12-2012	Helice.jpg	4000	17000	Spark
61	SAITO	130T (Twin)	PGF	13	213.032	24,8	22	2000	10500	12-00-2013	SAIE130TD-2.jpg	1417	8000	Glow
24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	0,46	7.538	3	4	1600	16000	13-12-2012	TT46.jpg	2000	15000	Glow

IMG44– Llista dels motors configurats en el software

Al fer doble click en un motor s'accedeix a les seves dades per poder-les modificar.

IMG45– Pantalla d'edició de les dades d'un motor

8.2.2 – Configuració dels volants d'inèrcia

Per tal de poder realitzar correctament el test de parell i potència, cal que el software conegui les característiques del volant d'inèrcia al qual es connectarà el motor. Amb aquesta finalitat s'ha implementat una eina que calcula el moment d'inèrcia del volant i de l'eix al qual està subjecte així com les característiques de la fixació del volant a l'eix. Es una eina molt útil a l'hora de dissenyar noves bancades.

Al seleccionar l'opció "Config. Volants" apareix una taula amb les bancades donades d'alta així com alguns dels seus paràmetres.

Id	Nom	Descripció	Moment inèrcia
5	Motor 46	Volant per motor 46	0.01081675
26	Motor 60	Volant per motor 60	0.1063343

IMG46– Pantalla de selecció del volant d'inèrcia a editar

Al fer doble click en un volant s'accedeix a les seves dades i dimensions per poder-les modificar.

CONFIGURADOR DE L'EIX I DEL VOLANT D'INERCIÀ

Id	Nom volant	Eix / Volant	D max (mm)	D min (mm)	Long (mm)	Pes esp (Kg/m³)	Volum (cm³)	Massa (Kg)	Mom In (Kg-m²)
355	Motor 60	Eix	15	0	70	7800	12.370	0.096486	0.0000027100
356	Motor 60	Eix	20	0	60	7800	18.850	0.14703	0.0000073500
357	Motor 60	Eix	40	0	5	7800	6.280	0.048984	0.0000098000
358	Motor 60	Eix	25	0	10	7800	4.910	0.038298	0.0000029900
359	Motor 60	Eix	20	0	60	7800	18.850	0.14703	0.0000073500
360	Motor 60	Eix	15	0	60	7800	10.600	0.08268	0.0000023300
361	Motor 60	Eix	4	0	15	7800	0.190	0.001482	0.0000000000
362	Motor 60	Volant	250	25	18	7800	874.740	6.822972	0.0538375100
363	Motor 60	Volant	250	100	18	7800	742.200	5.78916	0.0524642600
364	Motor 60	-	0	0	0	0	0.000	0	0.0000000000
365	Motor 60	-	0	0	0	0	0.000	0	0.0000000000
366	Motor 60	-	0	0	0	0	0.000	0	0.0000000000
367	Motor 60	-	0	0	0	0	0.000	0	0.0000000000

CONFIGURACIÓ FIXACIÓ VOLANT

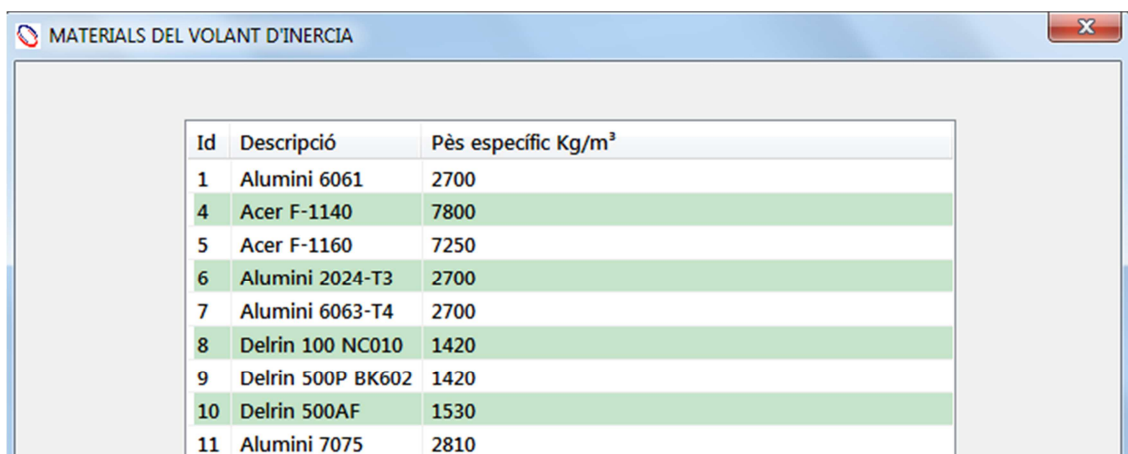
Diàmetre forat (mm): 0 Pes específic material (Kg/m³): 0
 Gruix (mm): 0 Num forats: 0
 Dist. del centre al centre de l'eix (mm): 0 Pes unitari cargoleria (grs): 0

Moment d'Inèrcia TOTAL: 0.1063343000 kg-m²

IMG47– Pantalla d'edició de les característiques d'un volant d'inèrcia, fixació, etc

Com que l'eix i el volant poden tenir diferents diàmetres en diferents sectors aleshores es calcula el moment d'inèrcia de cada sector per separat segons les seves característiques físiques. Tal i com es pot veure a la imatge, cal introduir si les mides pertanyen a l'eix ò al volant en sí mateix, a continuació s'introdueixen les mides del sector (diàmetre i longitud) així com el pes específic del material de què estan fets. Al prémer el botó de Recalcular es calcula el moment d'inèrcia de cada sector així com el moment d'inèrcia total. En el requadre de la part inferior de la pantalla es poden introduir la configuració física de la cargoleria necessària per subjectar el volant d'inèrcia a l'eix (en cas de ser necessària). A sota d'aquest requadre hi apareix en negreta el moment d'inèrcia total del conjunt format per l'eix, el volant d'inèrcia i la cargoleria.

8.2.3 – Materials dels volants d'inèrcia



Id	Descripció	Pès específic Kg/m³
1	Alumini 6061	2700
4	Acer F-1140	7800
5	Acer F-1160	7250
6	Alumini 2024-T3	2700
7	Alumini 6063-T4	2700
8	Delrin 100 NC010	1420
9	Delrin 500P BK602	1420
10	Delrin 500AF	1530
11	Alumini 7075	2810

IMG48– Llista de materials per als volants d'inèrcia

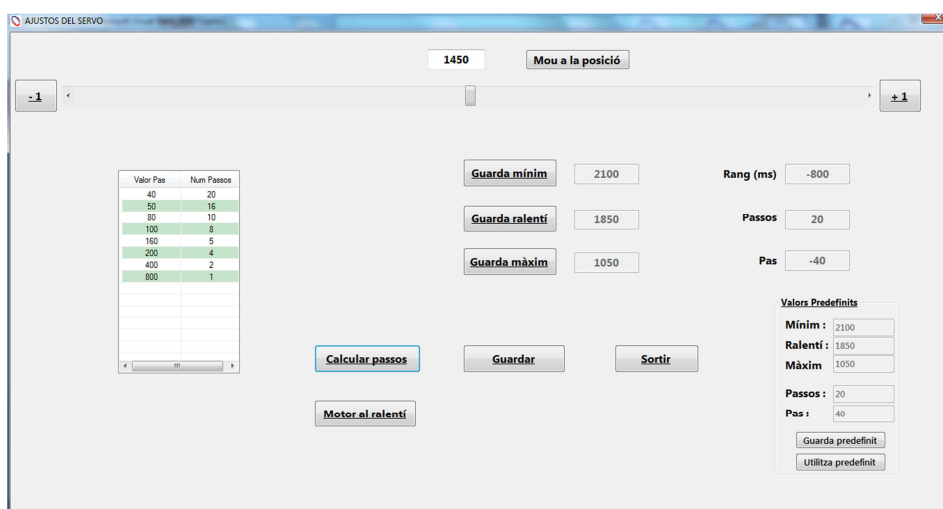
Aquesta pantalla només serveix per guardar informació sobre materials utilitzats en el disseny de volants d'inèrcia i els seus eixos.

8.2.4 – Configuració del servo

Abans de procedir a fer un test cal ajustar el servo que controla l'obertura/tancament del carburador. Es fàcil que hi hagi variacions de models. Tal i com s'ha explicat anteriorment, a l'apartat 5.3.1, un servo de radiocontrol funciona mitjançant polsos d'una amplada d'entre 0,5ms i 2,5ms, amb un període de 20ms. Per tal de poder automatitzar els tests, cal que l'electrònica pugui moure el servo sense que aquest quedi forçat en els seus extrems així com poder aturar el motor, accelerar-lo a fons, posar-lo al ralenti i poder moure'l a posicions intermèdies entre el ralenti i el màxim. Aquesta pantalla permet a l'usuari definir les posicions següents: Motor aturat, Motor al ralenti i Gas al màxim i seleccionar en quants passos es vol mesurar la tracció entre el ralenti i el gas màxim. El software elimina els casos superiors a 25 ja que

escollir un número de passos gran no té sentit en molts casos degut a la inestabilitat dels motors glow.

Un cursor lliscant permet moure el servo per trobar aquestes 3 posicions. Una vegada establerts aquests tres punts, al prémer el botó 'Calcular passos' es mostren a la taula de l'esquerra en quants valors enters es pot dividir l'interval entre el ralenti i el màxim per situar el servo durant el test.



IMG49– Pantalla de configuració de les posicions màxima, mínima i ralenti del servo

8.3 – Tests dels motors

Es imprescindible, abans de poder crear un test, ja sigui de tracció ò de potència, haver fet l'ajust del servo per evitar accidents i no forçar el servo..

*

8.3.1 – Crear nou test

IMG50– Pantalla d'introducció de les dades per crear un nou test

Aquesta pantalla és comú per crear tant un test de tracció com un test de potència. Al Seleccionar el tipus de test es visualitzen uns camps d'informació ò uns altres. Per exemple, en un test de potència es mostrarà la selecció del volant d'inèrcia i no es mostraran els camps corresponents a l'hèlix i vice-versa

8.3.2 – Recuperar test

En qualsevol moment l'usuari pot voler recuperar les dades d'un test fet anteriorment ò comparar els tests de dos motors ò comparar els tests de hèlix diferents. Amb aquesta finalitat s'ha dissenyat aquesta part del software. Al prémer el botó 'Recuperar test' del menú principal, a la pantalla hi apareixen dues taules. A la taula superior s'hi mostren els tests realitzats i emmagatzemats a la base de dades del programa. Al fer doble click en una fila de la taula superior queda seleccionat el test corresponent, i aquest s'afegeix a la taula inferior. L'aplicació permet comparar dos tests de parell i potència ò tres tests de tracció.

SELECCIO DE TESTS

TESTS REALITZATS

Id	MotorId	Marca	Model	Propietari	Data Test	Tipus Test	% Nitro	% Metanol	% oli sint	% oli resina	Marca hèlix	Model hèlix	Diàmetre	Pas	Nº pales	Volan
808	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	05/03/2014 17:07:22	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
809	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	05/03/2014 17:23:37	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
810	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	05/03/2014 17:35:16	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
811	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	05/03/2014 17:41:23	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
813	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	05/03/2014 18:00:31	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
815	56	OS	61-FX	PGF	06/03/2014 18:25:02	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	...	11	7	2	
816	56	OS	61-FX	PGF	06/03/2014 18:45:06	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	...	11	7	2	
827	61	SAITO	130T (Twin)	PGF	08/03/2014 21:20:18	traccio	25	25	25	25	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	
828	61	SAITO	130T (Twin)	PGF	08/03/2014 21:21:28	traccio	25	25	25	25	Master Aircrow	G/F 3 Series	10	7	2	

TESTS SELECCIONATS

Id	MotorId	Marca	Model	Propietari	Data Test	Tipus Test	% Nitro	% Metanol	% oli sint	% oli resina	Marca hèlix	Model hèlix	Diàmetre	Pas	Nº pales	Volant	Nom
640	23	OS	46-AX	PG	08/02/2014 2:09:58	traccio	25	25	25	25	Marca APC	Model APC	11	6	2		23-T8
804	24	Thunder Tiger	46 Pro	PG	03/03/2014 19:04:26	traccio	25	25	25	25	Marca APC	Model APC	11	6	2		24-te
816	56	OS	61-FX	PGF	06/03/2014 18:45:06	traccio	10	20	70	0	Master Aircrow	...	11	7	2		56-T2

Recuperar Test Buidar seleccionats Sortir Llistat tests

IMG51– Pantalla de selecció de tests realitzats per recuperar-ne les dades obtingudes

Al recuperar les dades de un ò més tests, el software mostra les dades obtingudes. La imatge següent mostra les dades numèriques de la comparació de dos tests de potència i parell.

RESULTATS TESTS PARELL I POTÈNCIA

Motor: corvette - 1 -

RPM	Parell [N·m]	Potència [W]
1000	474.53	48984.3
1200	521.98	64724
1600	596.56	98557
2000	657.57	135846.85
2400	711.80	176446.45
2800	753.83	218002.2
3200	786.37	259925.7
3600	812.13	301996.3
4000	816.20	337226.75
4400	808.06	367235.15
4800	793.15	393271.85
5200	776.88	417249.15
5600	759.26	439167.05
6000	736.21	456230.65
6400	709.09	468734.15
6500	699.60	469690.3
6600	688.08	469101.9

Motor: Porsche - 1 -

RPM	Parell [N·m]	Potència [W]
1800	53	13248
2100	123	36064
2400	184	61824
2700	268	101568
3000	291	122176
3300	306	141312
3900	333	181792
4200	349	205344
4800	346	232576
5100	344	245824
5400	341	258336
5700	339	270848
6000	325	273056
6300	306	270112

Motor: corvette - 1 -

Parell màxim = 816,2 @ 4000 RPM
Potència màxima = 469690,3 @ 6500 RPM

Motor: Porsche - 1 -

Parell màxim = 349 @ 4200 RPM
Potència màxima = 273056 @ 6000 RPM

Gràfics parell i potència
Gràfics Acceleració
Imprimir
Sortir

IMG52– Pantalla amb dades recuperades de dos test realitzats anteriorment

Al costat dret de la pantalla s'hi pot veure per cadascun dels tests de potència, el parell màxim, la potència màxima i a quantes revolucions s'han aconseguit. En el cas dels tests de tracció es mostra la tracció màxima i les revolucions que s'ha aconseguit.

Thunder Tiger - 46 Pro - PG / Marca APC - Model APC - 11x6-2P
Tracció màx = 20,069 @ 13142,83 RPM
Thunder Tiger - 46 Pro - PG / Master Airscrew - G/F 3 Series - 10x7-2P
Tracció màx = 19,82123 @ 12683,17 RPM
Thunder Tiger - 46 Pro - PG / Master Airscrew - G/F 3 Series - 10x7-2P
Tracció màx = 20,09997 @ 12827,83 RPM

IMG53– Presentació de les dades màximes de 3 test de tracció diferents

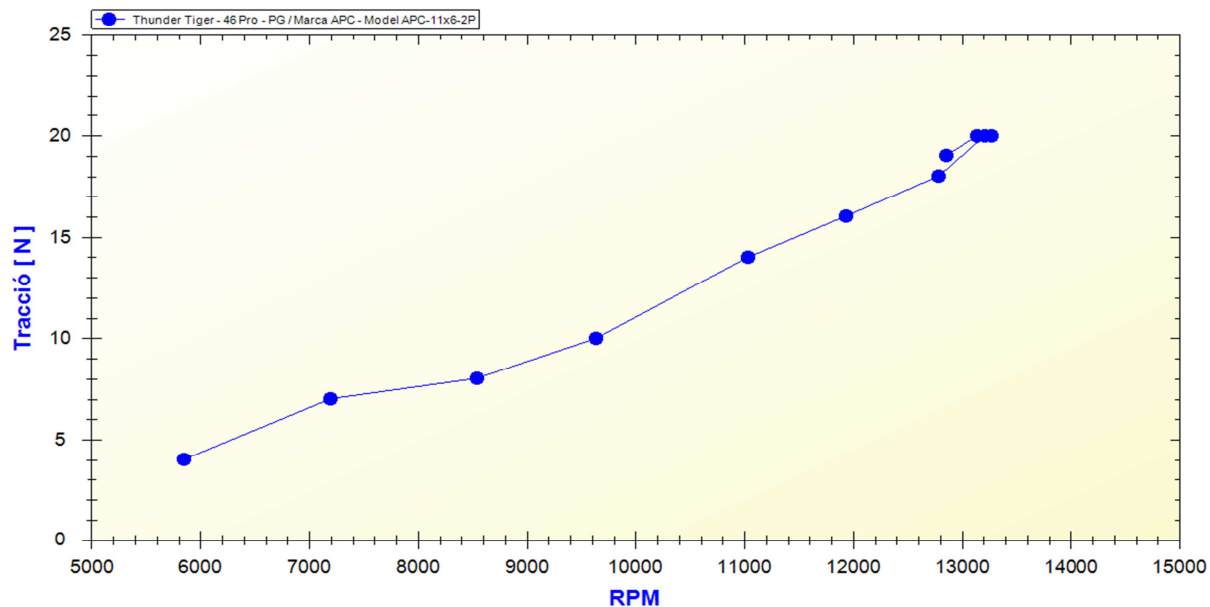
Motor: corvette - 1 -
Parell màxim = 816,2 @ 4000 RPM
Potència màxima = 469690,3 @ 6500 RPM
Motor: Porsche - 1 -
Parell màxim = 349 @ 4200 RPM
Potència màxima = 273056 @ 6000 RPM

IMG54– Presentació de les dades màximes de 2 test de parell i potència diferents

En els tests de parell i potència, les dades estan normalitzades segons la norma SAE J1349. Una vegada revisades les dades numèriques obtingudes en els tests de parell i potència i de tracció, podem veure de manera gràfica els resultats.

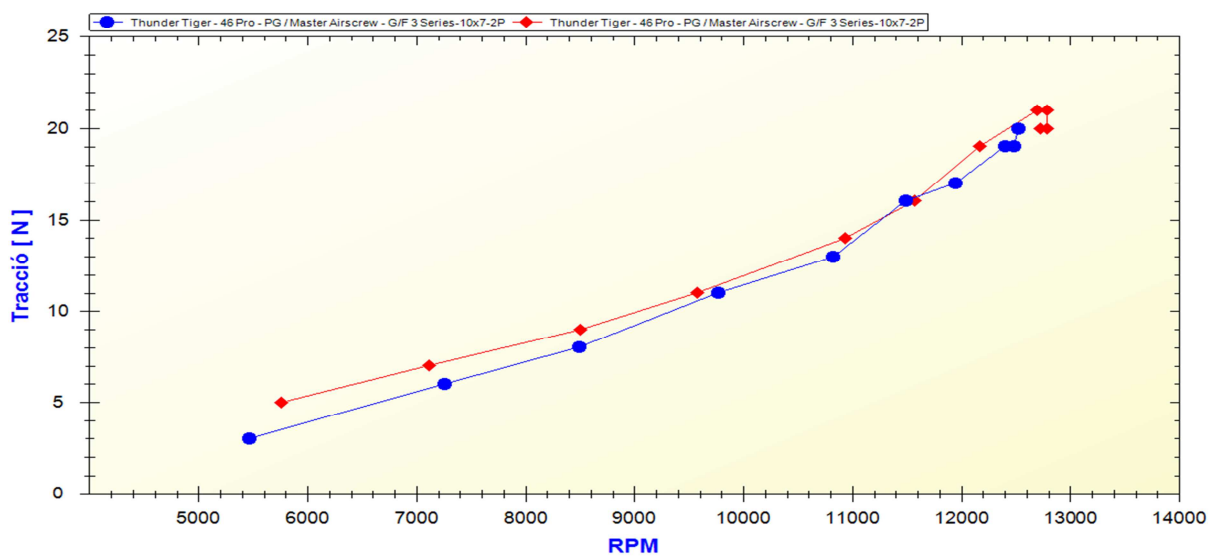
8.3.2.1– Gràfics del test de tracció

Gràfic de la tracció VS RPM



IMG55– Exemple d'una gràfica de tracció

Gràfic de la tracció VS RPM



IMG56– Gràfica comparativa de dos tests individuals de tracció (sense fer mitjana)

La gràfica de dalt correspon a un sol test de tracció. En la gràfica inferior s'hi comparen dos tests de tracció. En els tres tests podem observar a la part superior dreta que els punts prenen valors que poden semblar erronis. Això és degut a la inestabilitat de les revolucions del motor, cal tenir present que els tests realitzats es fan amb motors glow (encesa per filament incandescent). Si es fessin amb motors d'encesa per espurna això no succeeix. Aquesta inestabilitat de les revolucions en algunes ocasions resulta fins i tot audible.

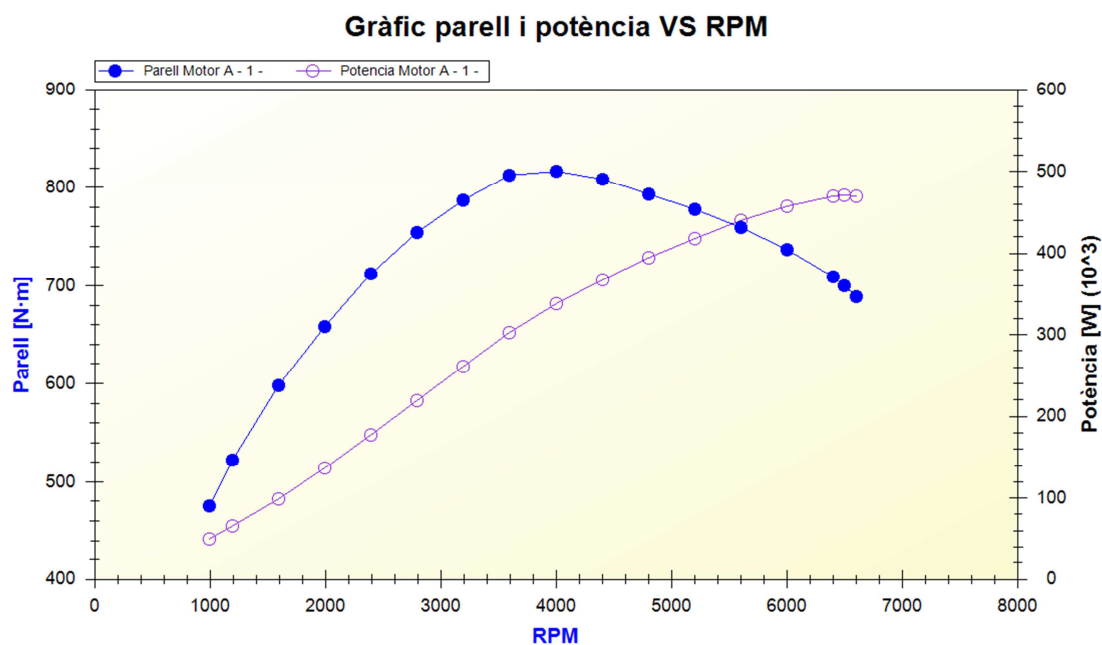
Si realitzem el mateix test diverses vegades podrem observar que cada vegada obtenim uns resultats diferents. Tot i essent diferents els resultats tenen una mateixa tendència, les revolucions dels diferents punts veuríem que en cada test són diferents però sempre mantenint-se dins d'uns marges. Això, una vegada més és degut a la inestabilitat a part de que, en els darrers moviments del servo per accelerar el motor, l'increment d'obertura del carburador és gairebé insignificant en relació amb la obertura que ja té.

El software, dona la opció a l'usuari de generar una gràfica mitjana a partir de cinc tests existents (fets amb el mateix motor i la mateixa hèlix) i que s'hagin obtingut el mateix número de punts. Això permet suavitzar l'impacte que tenen els errors deguts a inestabilitats i vibracions (veure el punt 8.3.4).

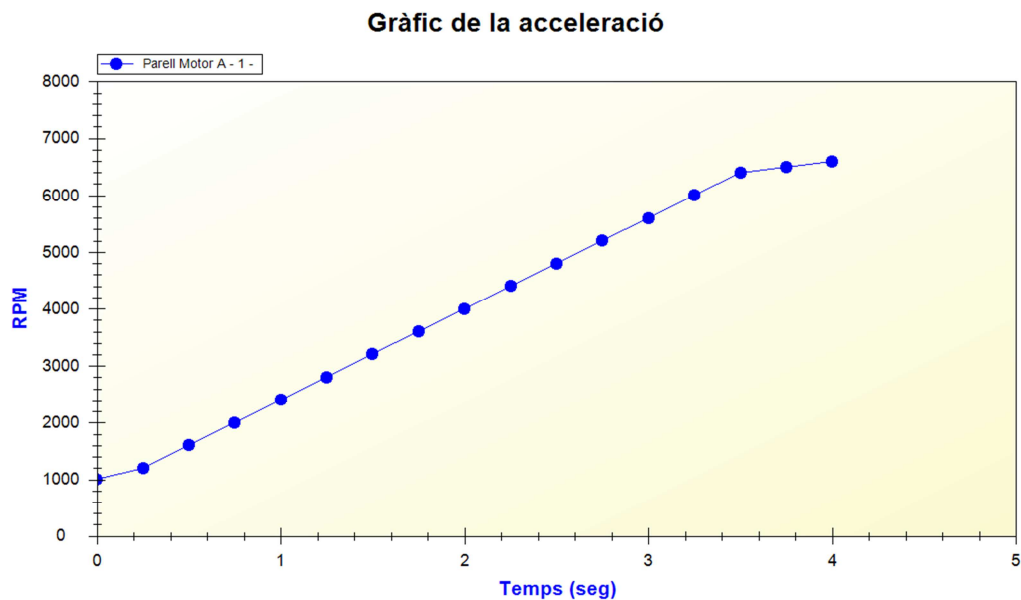
8.3.2.2– Gràfics del test de parell i potència

Amb les dades obtingudes en el test de parell i potència d'un motor es generen tres corbes diferents. Per un costat, i sobre una mateixa gràfica és generen la corba del parell i de la potència, que comparteixen un mateix eix X (RPM) però cadascun sobre un eix Y diferent ja que es mesuren en unitats diferents. Per altra banda es genera la gràfica d'acceleració on es mostra com accelera el motor en funció del temps al llarg de la duració del test del motor. Tant el cas de la gràfica del parell i potència com en el cas de l'acceleració, es poden

mostrar les gràfiques corresponents a dos motors. A continuació se-n mostren alguns exemples.

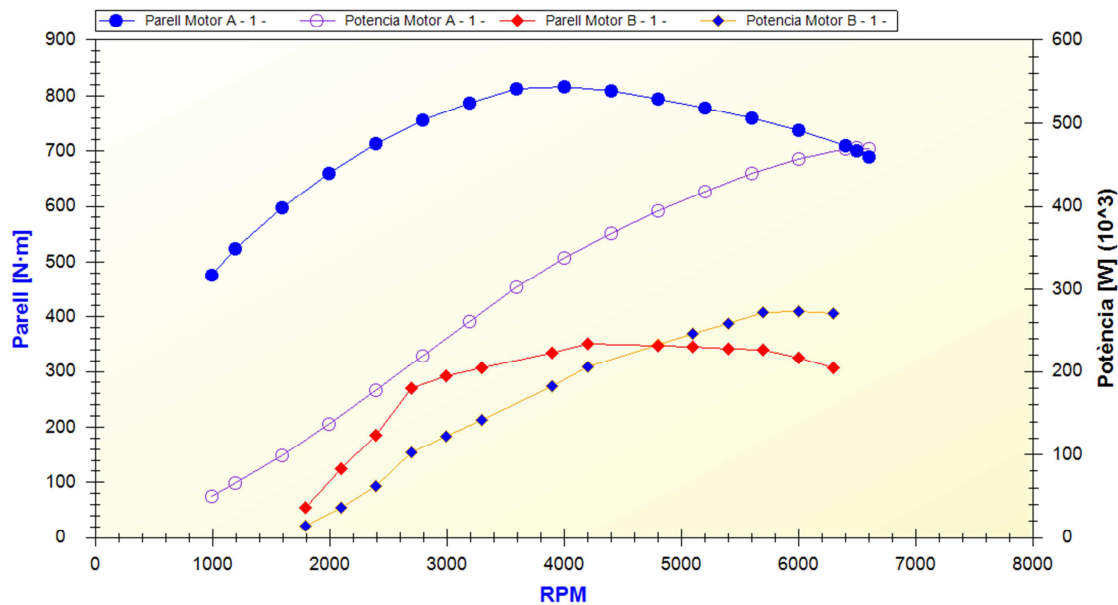


IMG57– Exemple de gràfica combinada de parell i potència



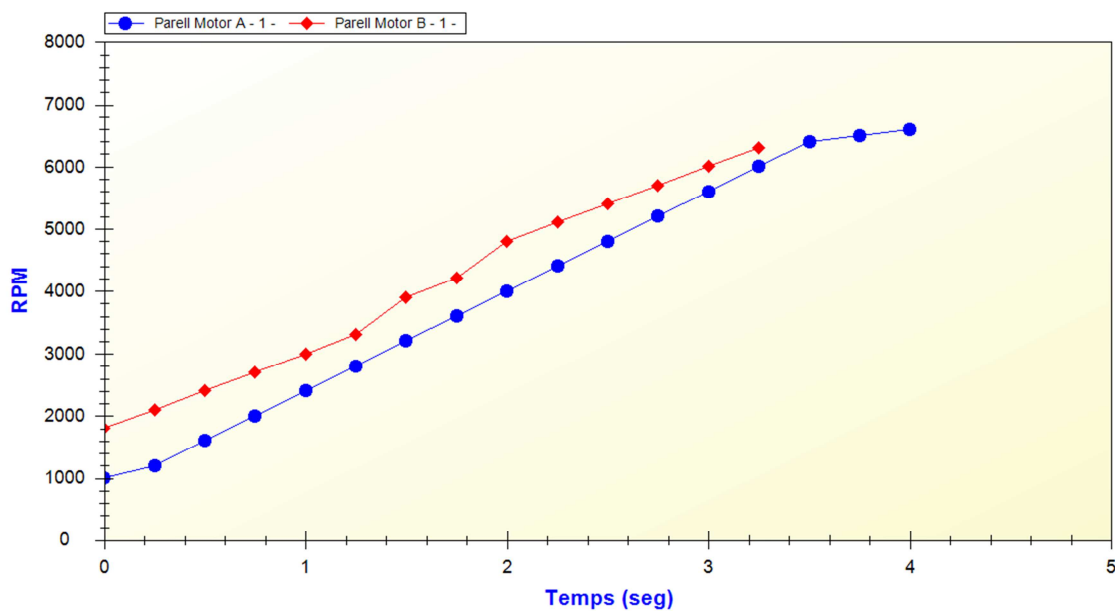
IMG58– Exemple de gràfica d'acceleració

Gràfic parell i potència VS RPM



IMG59– Gràfica comparativa de dos tests de parell i potència

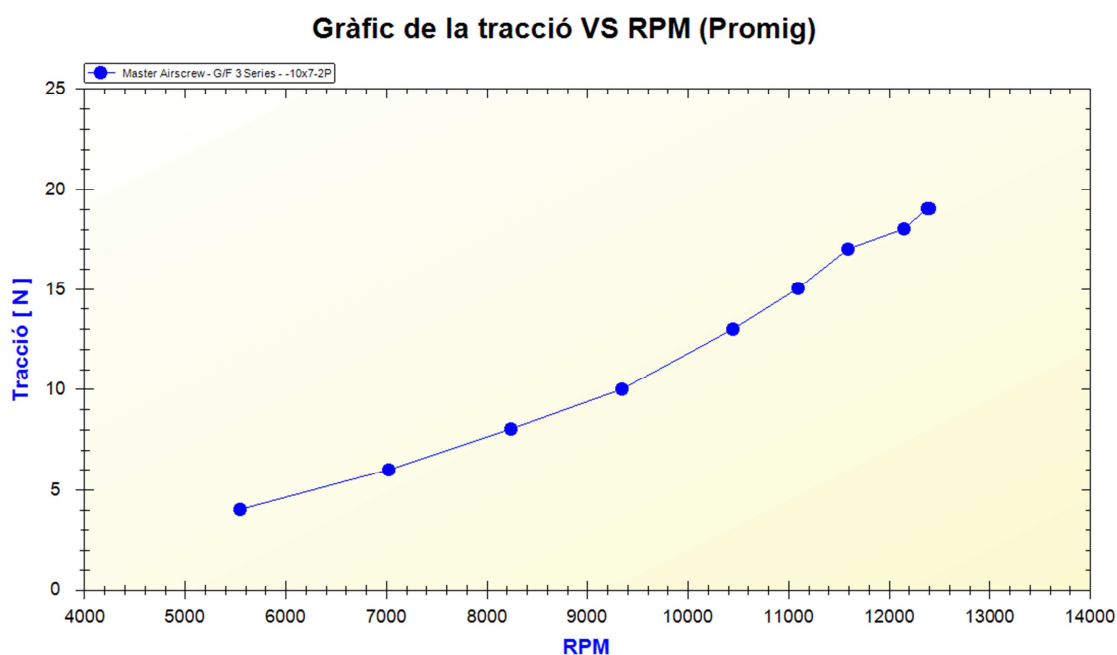
Gràfic de la acceleració



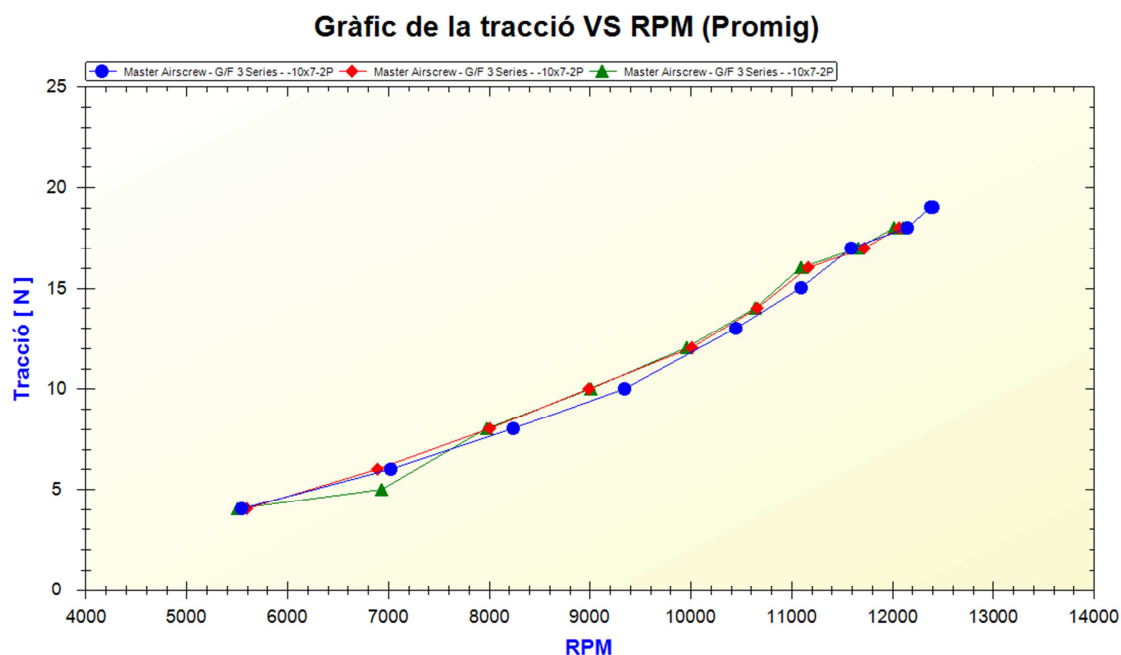
IMG60– Gràfica comparativa de l'acceleració de dos tests de parell i potència

8.3.3 – Gràfiques mitjanes

Pels motius esmentats anteriorment (inestabilitat i vibracions principalment), si es repeteix un mateix test de tracció diverses vegades, obtindrem resultats semblants però no idèntics. Per poder tenir unes dades orientatives i que minimitzin dintre del possible aquests errors inherents, s'ha realitzat un altre bloc estadístic ò de resultats on el que es fa és agafar la mitjana de 5 tests diferents. Això només es fa pels tests de tracció, pels test de parell i potència no és necessari ja que el volant d'inèrcia impedeix que hi hagi fluctuacions de les rpm. A continuació es mostra una gràfica mitjana i una comparació de tres gràfiques mitjanes. Es pot apreciar que la corba és més progressiva.



IMG61– Gràfica exemple d'un test de tracció



IMG62– Gràfica comparativa de dos tests de tracció

En aquesta gràfica es pot veure que, tot i havent-hi diferències entre les tres gràfiques mitjanes, aquestes diferències són molt petites, i ja permet treure algunes conclusions sobre el funcionament de l'hèlix del test.

8.3.4 – Eliminar tests

Com en qualsevol software a vegades l'usuari pot voler fer neteja de les dades emmagatzemades, ja sigui per tenir la base de dades massa plena, per que algunes dades no són necessàries. La finalitat d'aquesta part és la de permetre a l'usuari eliminar dades.

8.4 – Eines

8.4.1 – Terminal RS232

En sistemes on hi ha comunicació amb hardware extern sol ser útil poder comunicar amb el hardware directament per fer verificacions, transmetre paràmetres, etc. Aquesta part del programa ens permet fer això. A continuació es mostra una pantalla d'exemple.

8.4.2 – Càlcul de volants d'inèrcia

De la mateixa manera que s'ha dissenyat l'eina per ajustar el disseny del conjunt del volant d'inèrcia i calcular-ne el moment d'inèrcia, s'ha dissenyat una altra eina per saber quin moment d'inèrcia ha de tenir coneguts els següents paràmetres:

- RPM mínimes del motor (dades teòriques)
- RPM màximes del motor (dades teòriques)
- Potència teòrica del motor
- Temps que volem que tardi el motor des de les RPM del ralenti fins al màxim. Un valor adequat és entre 8 i 10 segons

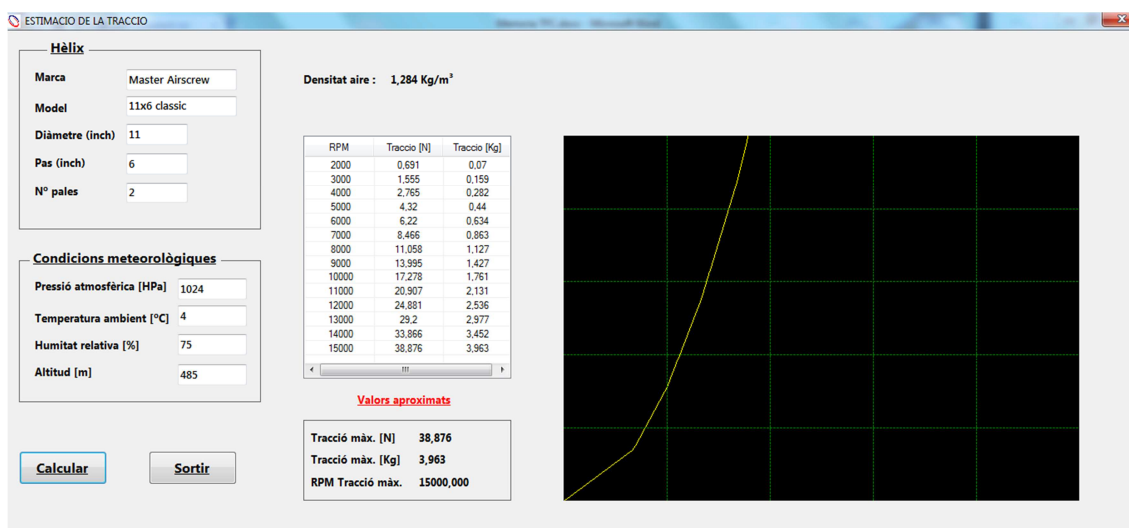
Amb aquestes dades es pot començar a dimensionar el conjunt eix-volant fins aconseguir el moment d'inèrcia necessari. Cal dir que el resultat serà orientatiu ja que les dades introduïdes són les que faciliten els fabricants en el corresponent manual de cada motor, i poden tenir una veracitat relativa.

8.4.3 – Backup de dades

Es necessari i recomanable en qualsevol aplicació informàtica fer periòdicament còpies de seguretat de les dades emmagatzemades. El botó 'Backup' del menú principal ens porta a l'apartat de fer còpies de seguretat i poder restaurar còpies de seguretat fetes. El resultat de la còpia de seguretat és un fitxer comprimit on es guarda tota la informació dels tests, dades dels motors, dels bancs de proves, volants d'inèrcia, etc.

8.4.4 – Estimació de la tracció

Mitjançant l'equació 19, és possible fer una estimació de la tracció d'una hèlix si en coneixem el seu diàmetre, el seu pas, les revolucions a les que gira i també si coneixem la densitat de l'aire.



IMG63– Pantalla per fer una estimació de la tracció

Introduint les dades en el software aquest ens donarà la tracció estimada a diferents règims de gir així com un gràfic. Cal tenir present que la estimació no té en compte el perfil de l'hèlix, per tant els resultats poden estar lluny dels reals. Simplement pretén donar una idea.

9 – DADES DE MOTORS

A continuació s'adjunta una taula amb les dades d'alguns motors d'aeromodelisme. Aquestes dades són les donades pels fabricants en el corresponent manual de cada motor, es desconeixen les condicions del test (combustible, etc). S'ha contactat amb els diferents fabricants però no s'ha obtingut resposta. Tots els motors d'aquests tests són de tipus glow.

	Thunder Tiger 46 Pro (2T)	OS 46LA (2T)	ASP FS52AR (4T)	OS 61FX (2T)	ASP 61A (2T)	GMS 2000 76 II (2T)
C.I.	0,456	0,467	0,52	0,61	0,607	0,76
C.C.	7,47	7,5	8,52	9,97	9,94	12,45
Diàmetre (mm)	21,8	23	23	24	24	26,6
Cursa (mm)	20	18,4	20,6	21,5	22	22,4
RPM mínimes	2000	2000	2300	2000	2000	2000
RPM màximes	17000	16000	11500	17000	16000	13000
HP	1,43 BHP	1 HP	1,15 HP	1,9 HP	2,3 HP	2,5 BHP
Watt	1193	735,5	845,825	1397,45	1680	1864
@ RPM	16000	15000	11500	16000	17500	15000

2T = Motor de 2 temps

4T = Motor de 4 temps

CI	Cubicatge del motor en polzades cúbiques
CC	Cubicatge del motor en centímetres cúbics
DIÀMETRE	Diàmetre del pistó en mil·límetres
CURSA	Cursa del pistó en mil·límetres
RPM MINIMES	Revolucions per minut del motor al ralenti
RPM MAXIMES	Revolucions per minut màximes del motor
HP	Potència màxima del motor en BHP i HP
WATT	Potència màxima del motor en Watt
@RPM	RPM en que s'aconsegueix la potència màxima

10 – TEST DE TRACCIÓ

10.1 – Hèlix recomanades pels fabricants

Cada fabricant aconsella per cada motor que fabrica, i segons les seves característiques un tipus de hèlix. A la taula següent es s'indiquen les hèlix aconsellades per cadascun dels motors sotmesos a proves en aquest projecte.

MOTOR	2T / 4T	C.C.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
Thunder Tiger 46-PRO	2T	7,47	10x6	10x7						
OS - 46 LA	2T	7,65	11x6	11x7						
OS - 61 FX	2T	9,95	12x6	12x7	12x8	12x9	12x10	12x11	13x6	13x7
ASP – 61 ^a	2T	9,95	11x7							
ASP - 52AR FS	4T	8,52	11x7	11x8	11x9	12x5	12x6	12x7	13x4	
GMS 2000 - 76 II	2T	12,45	11x8	12x6	12x7	13x6				

Taula 02 – Taula d'hèlix recomanades pels fabricants

10.2 – Tests de tracció realitzats

S'ha escollit uns quants models de hèlix, algunes de característiques de diàmetre i pas igual però de fabricants diferents i disseny diferent, i d'altres de diferent per poder-les comparar.

La taula següent mostra les hèlix seleccionades per fer els tests:

<u>Marca</u>	<u>Diàm. en polzades</u>	<u>Pas en polzades</u>	<u>Nº de pales</u>
Master Airscrew G-F3 Series	10	7	2
APC	11	7	2
Master Airscrew	11	7	2
APC	12	6	2
Master Airscrew K-Series	12	6	2
Graupner Sonic Pro	12	6	2

Taula 03 – Llista d'hèlix utilitzades pels tests

Per cada hèlix s'ha realitzat el test 5 vegades per posteriorment treure la mitjana dels 5 tests per, tal i com s'ha explicat anteriorment, compensar els errors deguts a factors diversos.

10.2.1 – Hèlix Master Airscrew G-F3 Series - 10x7

TEST 5

RPM	Tracció [N]
6692	5,419888
7995,167	6,844519
8914,833	8,795671
9860	10,96362
11105,5	14,95883
11599,5	13,75098
11879,67	18,24173
12241,83	19,69735
12473	19,35667
12322,17	17,12678
11955,33	17,99396

TEST 4

RPM	Tracció [N]
6454,333	4,521719
7638,333	6,782578
8516,667	8,547906
9631,833	10,09644
10776,33	14,4633
11491,33	17,49843
11880,17	17,5294
12417,33	14,61816
12843,5	20,68841
12556,33	19,75929
12445,17	19,48055

TEST 3

RPM	Tracció [N]
6514	4,212012
7769,667	6,782578
8811,467	9,848575
9853,667	11,92371
10922	15,11369
11622,17	16,10475
12122,5	17,62331
12500,17	19,44958
12669	20,3787
12585,17	21,02909
12376,83	20,28579

TEST 2

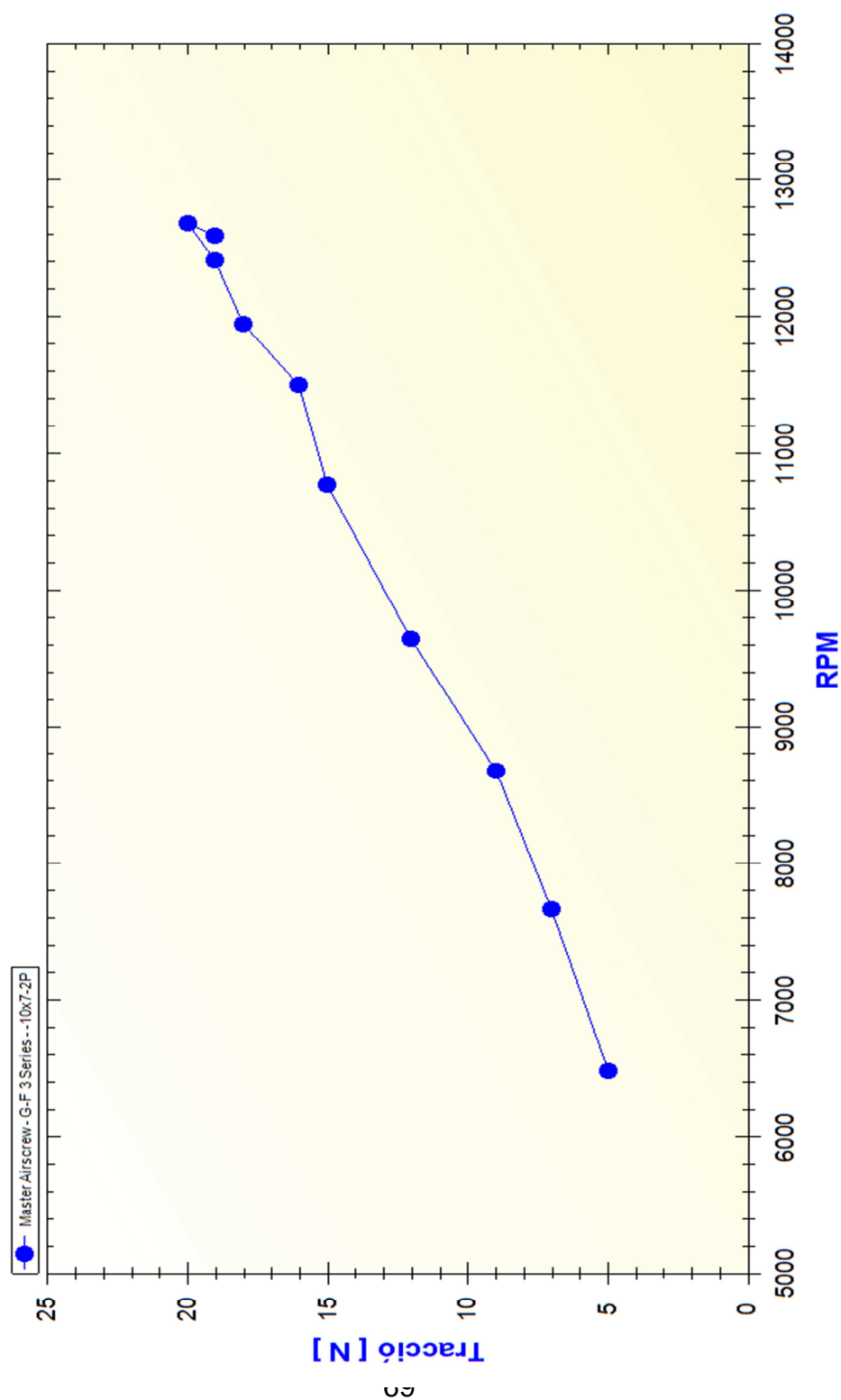
RPM	Tracció [N]
6319,167	3,68551
7542,833	6,256076
8722	8,764701
9656,667	14,58719
10705,33	14,21554
11284,33	16,10475
11929,83	18,33464
12488	19,75929
12741,67	20,84326
12770	20,44054
12741	20,71938

TEST 1

RPM	Tracció [N]
6454,5	4,953308
7417,333	5,791516
8453,833	8,114317
9229	11,14944
10378,83	14,64913
11514,67	14,55622
11931,67	17,71523
12445,17	18,73726
12726,17	20,22385
12771,33	18,73726
12557	20,22385

PROMIG	RPM	Tracció [N]
	6488,80	4,56
	7672,87	6,49
	8683,50	8,81
	9646,23	11,74
	10777,60	14,68
	11502,40	15,60
	11948,77	17,89
	12418,50	18,45
	12690,67	20,30
	12601,00	19,42
	12415,07	19,74

Gràfic de la tracció VS RPM (Promig)



10.2.2 – Hèlix APC - 11x7 – 2 pales

TEST 1

RPM	Tracció [N]
5022,333	5,667633
6176,333	5,141132
6850,5	6,4419
7589,167	9,63188
8517,333	11,36624
9375,167	15,4234
10082,17	16,53834
10673,67	18,48949
11330,5	21,33879
12031,83	21,46268
12175,5	21,46268

TEST 2

RPM	Tracció [N]
4725,667	3,778422
6548,5	6,720836
7235,167	9,60922
7799,167	10,12741
8770,667	12,38827
9518,667	14,64913
10330,5	19,35867
10210,33	18,52046
11149,5	21,33879
11684	20,44065
11980,67	21,46268

TEST 3

RPM	Tracció [N]
5134,333	3,004155
6389,167	5,948369
7272	8,981496
7834,667	10,31323
8661	13,22448
9470,333	18,30367
10246	14,92786
10613,67	19,97609
11052,5	20,09997
11457,33	21,46268
11845,17	20,44065

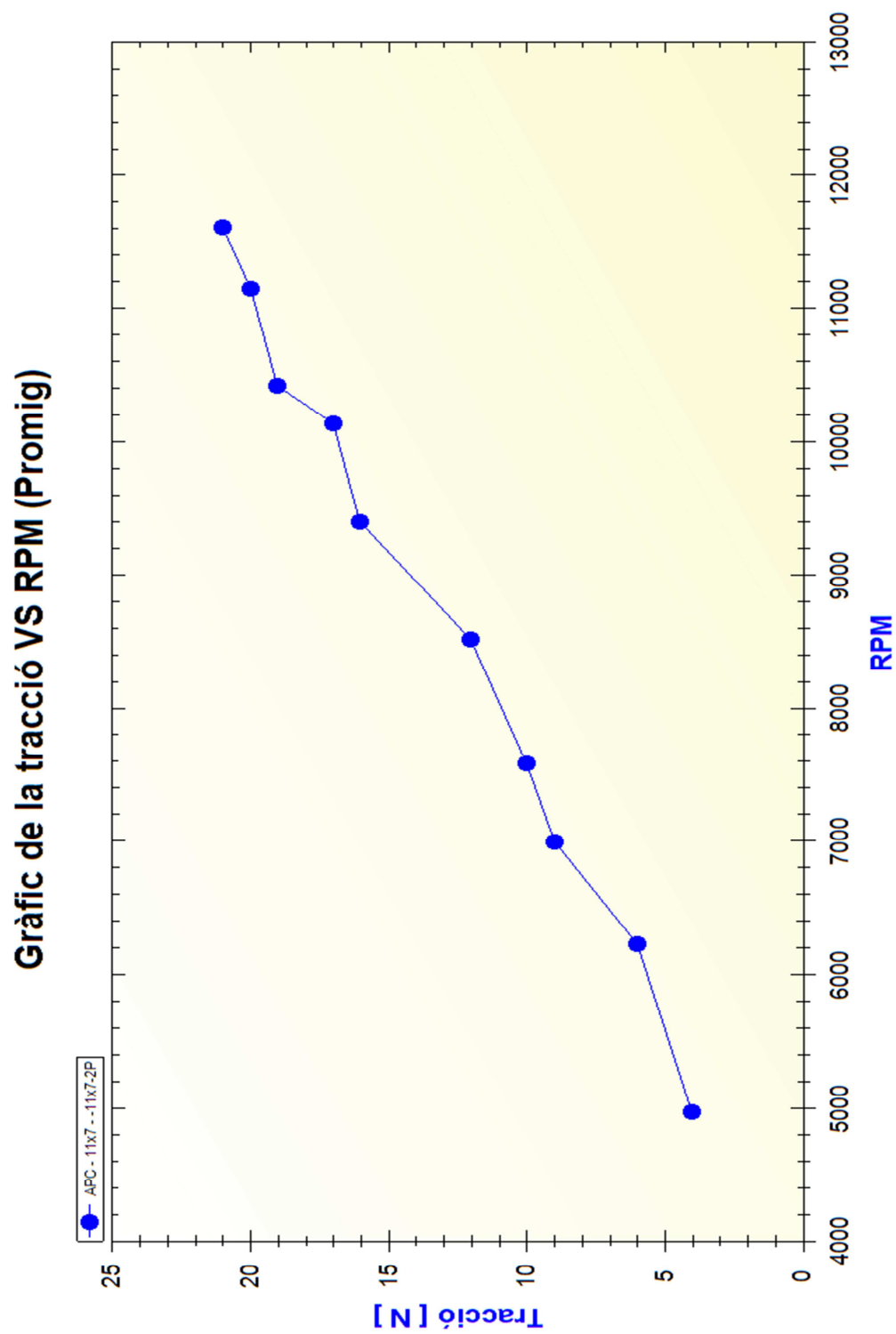
TEST 4

RPM	Tracció [N]
4762,5	3,488715
5699,167	4,181041
6332,833	11,11847
7222,667	9,786733
8258,833	12,69798
9469,5	15,48534
10190,5	17,35744
10207,33	18,43854
11139,83	19,29781
11550,17	20,36006
11879,5	21,46268

TEST 5

RPM	Tracció [N]
5233,833	3,645601
6332,833	5,54312
7080,333	8,23417
7507,833	10,5632
8367,333	12,8236
9170,333	16,5412
9860	17,9122
10426,17	18,1853
11084	20,9184
11363,83	21,0206
11646,17	21,7230

PROMIG	
RPM	Tracció [N]
4975,73	3,91
6229,20	5,51
6994,17	8,88
7590,70	10,08
8515,03	12,50
9400,90	16,08
10141,83	17,22
10426,23	18,72
11151,27	20,60
11617,43	20,95
11905,40	21,31



10.2.3 – Hèlix Master Airscrew - 11x7 – 2 pales

TEST 1

RPM	Tracció [N]
6454,5	4,955308
7417,333	5,791516
8452,833	8,114317
9229	11,14944
10378,83	14,64913
11514,67	14,55622
11931,67	17,71523
12445,17	18,73726
12726,17	20,22385
12771,33	18,73726
12557	20,22385

TEST 2

RPM	Tracció [N]
6319,167	3,68551
7542,833	6,256076
8722	8,764701
9656,667	14,58719
10705,33	14,21554
11284,33	16,10475
11929,83	18,33464
12488	19,75929
12741,67	20,84326
12770	20,44064
12741	20,71938

TEST 3

RPM	Tracció [N]
6514	4,212012
7769,667	6,782578
8811,167	9,848675
9853,667	11,92371
10922	15,11369
11622,17	16,10475
12122,5	17,62231
12500,17	19,44958
12669	20,3787
12585,17	21,02909
12376,83	20,28579

TEST 4

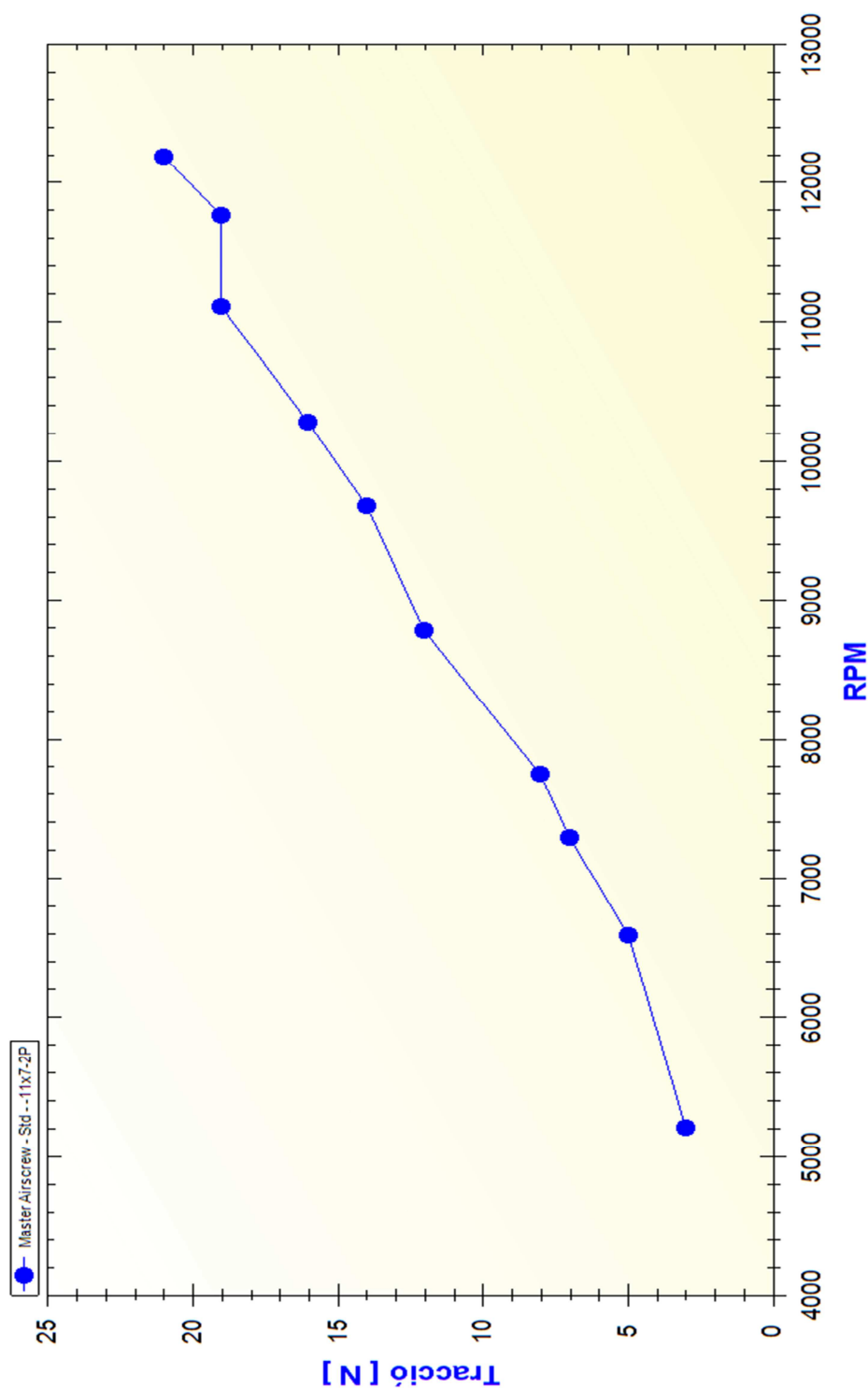
RPM	Tracció [N]
6454,333	4,521719
7638,333	6,782578
8516,667	8,547906
9631,833	10,09644
10776,33	14,4633
11491,33	17,49843
11880,17	17,5294
12417,33	14,61816
12843,5	20,68841
12556,33	19,75929
12445,17	19,48055

TEST 5

RPM	Tracció [N]
6692	5,419868
7996,167	6,844519
8914,833	8,795671
9860	10,96362
11105,5	14,95883
11599,5	13,75098
11879,67	18,24173
12241,83	19,69735
12473	19,35667
12322,17	17,12678
11955,33	17,99396

PROMIG	RPM	Tracció [N]
	6488,80	4,56
	7672,87	6,49
	8683,50	8,81
	9646,23	11,74
	10777,60	14,68
	11502,40	15,60
	11948,77	17,89
	12418,50	18,45
	12690,67	20,30
	12601,00	19,42
	12415,07	19,74

Gràfic de la tracció VS RPM (Promig)



10.2.4 – Hèlix APC – 12x6 – 2 pales

TEST 5

RPM	Tracció [N]
6692	5,419888
7996,167	6,844519
8914,833	8,795671
9860	10,96362
11105,5	14,95883
11599,5	13,75098
11879,67	18,24173
12241,83	19,69735
12473	19,35667
12322,17	17,11678
11955,33	17,99396

TEST 4

RPM	Tracció [N]
6454,333	4,521719
7638,333	6,782578
8516,667	8,547906
9631,833	10,09644
10776,33	14,4633
11491,33	17,49843
11880,17	17,5294
12417,33	14,61816
12843,5	20,68841
12556,33	19,75929
12445,17	19,48055

TEST 3

RPM	Tracció [N]
6514	4,212012
7769,667	6,782578
8811,167	9,848675
9853,667	11,92371
10922	15,11369
11622,17	16,10475
12122,5	17,62331
12500,17	19,44958
12669	20,3787
12585,17	21,02909
12376,83	20,28579

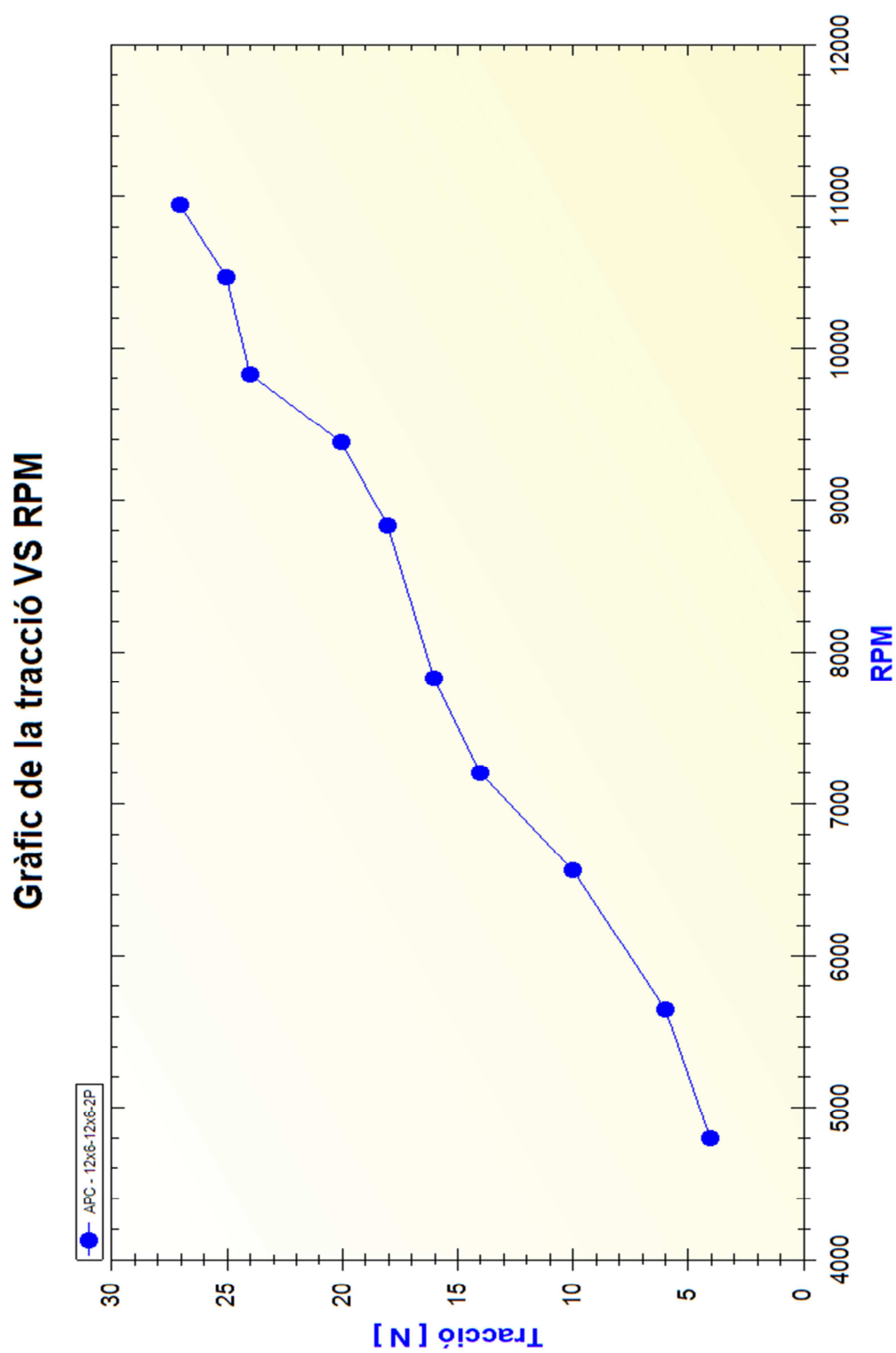
TEST 2

RPM	Tracció [N]
6319,167	3,68551
7542,833	6,256076
8722	8,764701
9656,667	14,58719
10705,33	14,21554
11284,33	16,10475
11929,83	18,33464
12488	19,75929
12741,67	20,84326
12770	20,44064
12741	20,71938

TEST 1

RPM	Tracció [N]
6454,5	4,955308
7417,333	5,791516
8452,833	8,114317
9229	11,14944
10378,83	14,64913
11514,67	14,5622
11931,67	17,71523
12445,17	18,73726
12726,17	20,2385
12771,33	18,73726
12557	20,2385

PROMIG	
RPM	Tracció [N]
6488,80	4,56
7672,87	6,49
8683,50	8,81
9646,23	11,74
10777,60	14,68
11502,40	15,60
11948,77	17,89
12418,50	18,45
12690,67	20,30
12601,00	19,42
12415,07	19,74



10.2.5 – Hèlix Master Airscrew K-Series – 12x6 – 2 pales

TEST 1

RPM	Tracció [N]
6464,5	4,953308
7417,333	5,791516
8452,833	8,114317
9229	11,14944
10378,83	14,64913
11514,67	14,55622
11931,67	17,71523
12445,17	18,73726
12726,17	20,22385
12771,33	18,73726
12557	20,22385

TEST 2

RPM	Tracció [N]
6319,167	3,68551
7542,833	6,256076
8722	8,764701
9656,667	14,58719
10705,33	14,21554
11284,33	16,10475
11929,83	18,33454
12488	19,75929
12741,67	20,84326
12770	20,44054
12741	20,71938

TEST 3

RPM	Tracció [N]
6514	4,212012
7769,667	6,782578
8811,167	9,848675
9853,667	11,92371
10922	15,11369
11622,17	16,10475
12122,5	17,62231
12500,17	19,44958
12669	20,3787
12585,17	21,02909
12376,83	20,28579

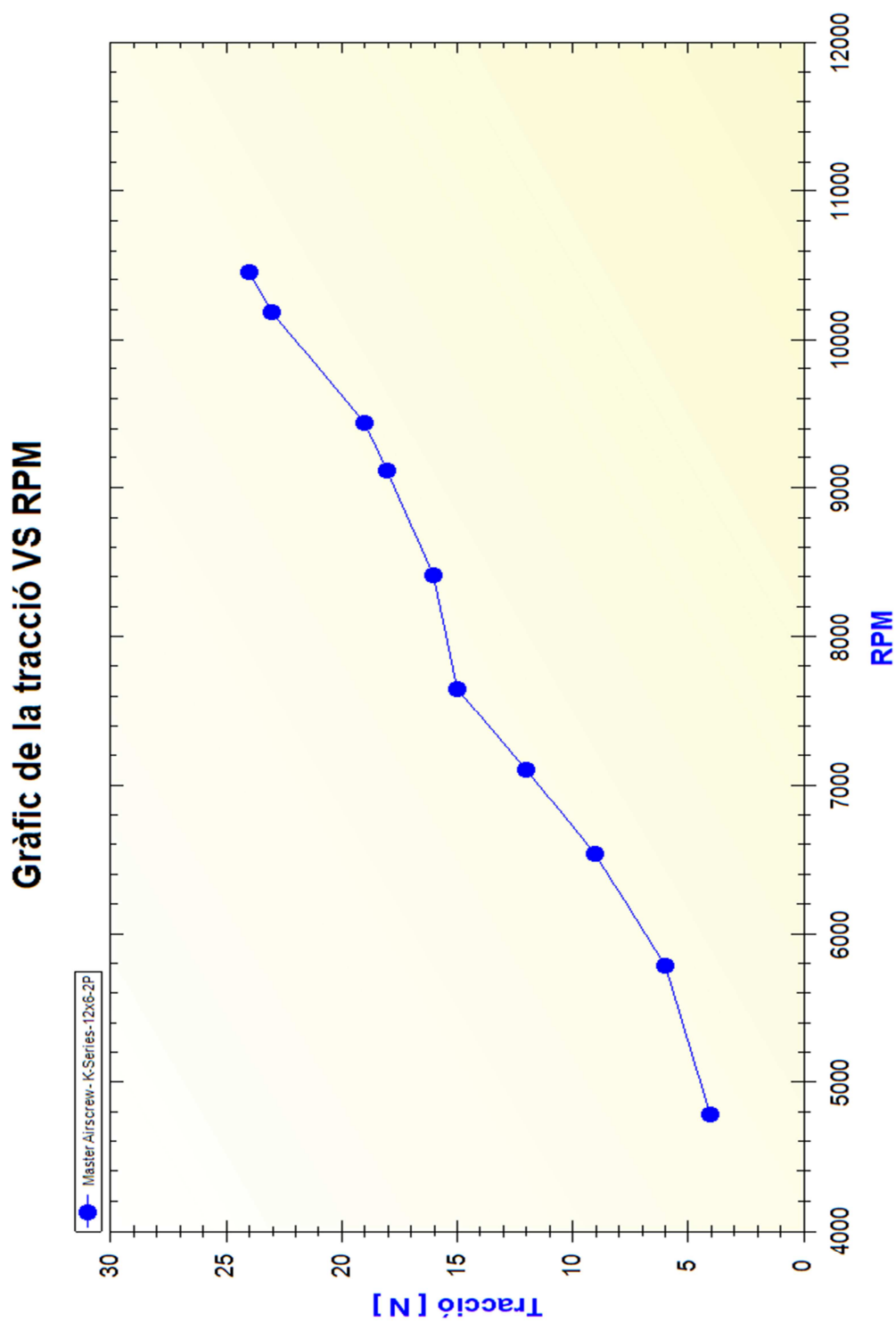
TEST 4

RPM	Tracció [N]
6454,333	4,521719
7638,333	6,782578
8516,667	8,547906
9631,833	10,09544
10776,33	14,4633
11491,33	17,49843
11880,17	17,5294
12417,33	14,61816
12843,5	20,68841
12556,33	19,75929
12415,17	19,48055

TEST 5

RPM	Tracció [N]
6692	5,419888
7996,167	6,844519
8914,833	8,795671
9860	10,96362
11105,5	14,95883
11599,5	13,75098
11879,67	18,24173
12241,83	19,69735
12473	19,35667
12322,17	17,12678
11955,33	17,99395

PROMIG	
RPM	Tracció [N]
6488,80	4,56
7672,87	6,49
8683,50	8,81
9646,23	11,74
10777,60	14,68
11502,40	15,60
11948,77	17,89
12418,50	18,45
12690,67	20,30
12601,00	19,42
12415,07	19,74



10.2.6 – Hèlix Graupner Sonic Pro – 12x6 – 2 pales

TEST 1

RPM	Tracció [N]
6464,5	4,95308
7417,333	5,791516
8452,833	8,114317
9229	11,14944
10378,83	14,64913
11514,67	14,55622
11931,67	17,71523
12445,17	18,73726
12726,17	20,22385
12771,33	18,73726
12557	20,22385

TEST 2

RPM	Tracció [N]
6319,167	3,68551
7542,833	6,256076
8722	8,764701
9656,667	14,58719
10705,33	14,21554
11284,33	16,10475
11929,83	18,33454
12488	19,75929
12741,67	20,84326
12770	20,44064
12741	20,71938

TEST 3

RPM	Tracció [N]
6514	4,212012
7769,667	6,782578
8811,167	9,848675
9853,667	11,92371
10922	15,11369
11622,17	16,10475
12122,5	17,62231
12500,17	19,44958
12669	20,3787
12585,17	21,02909
12376,83	20,28579

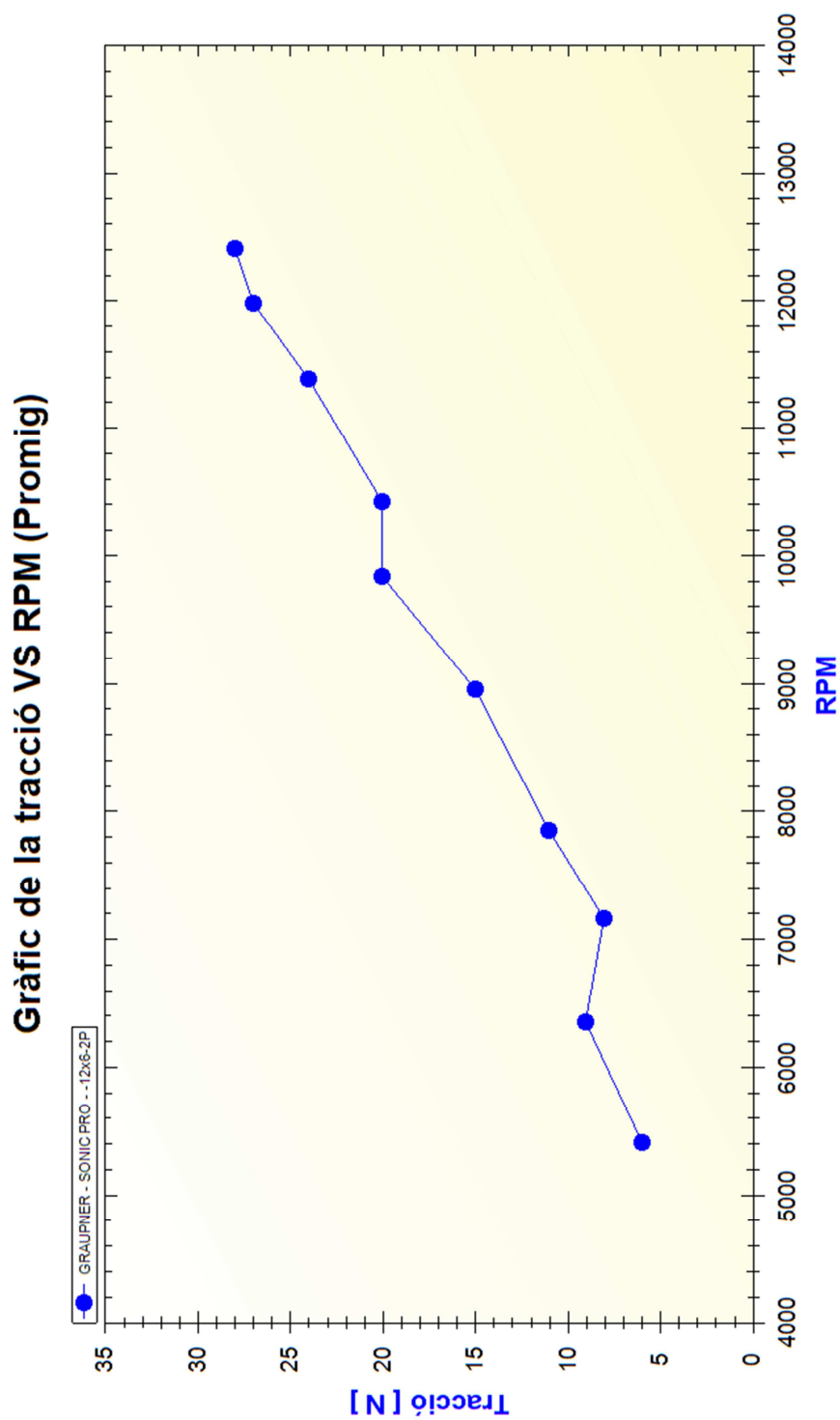
TEST 4

RPM	Tracció [N]
6454,333	4,521719
7638,333	6,782578
8516,667	8,547906
9631,833	10,09644
10776,33	14,4633
11491,33	17,49843
11880,17	17,5294
12417,33	14,61816
12843,5	20,68841
12556,33	19,79929
12445,17	19,48055

TEST 5

RPM	Tracció [N]
6692	5,419858
7996,167	6,844519
8914,833	8,795671
9860	10,96362
11105,5	14,95883
11599,5	13,75098
11879,67	18,24173
12241,83	19,69735
12473	19,35667
12322,17	17,12678
11955,33	17,99396

PROMIG	
RPM	Tracció [N]
6488,80	4,56
7672,87	6,49
8683,50	8,81
9646,23	11,74
10777,60	14,68
11502,40	15,60
11948,77	17,89
12418,50	18,45
12690,67	20,30
12601,00	19,42
12415,07	19,74



10.2.7 – Conclusions dels test individuals

Observant els gràfics obtinguts es pot arribar a la conclusió de que el sistema funciona correctament, tant la part mecànica com la electrònica com el software. Es pot observar, malgrat que els gràfics s'han obtingut fent la mitjana de cinc tests individuals, que les corbes contenen irregularitats. Si en lloc de fer la mitjana de 5 tests individuals el féssim de més tests, aquestes irregularitats serien menors.

Per altra banda s'observa també que els gràfics obtinguts no tenen forma lineal sinó exponencial, tal com s'esperava que tinguessin i els valors obtinguts tenen sentit si agafem com a referència les hèlix que s'utilitza a cada model d'avió segons el seu pes ò el seu disseny.

10.2.8 – Comparació de resultats

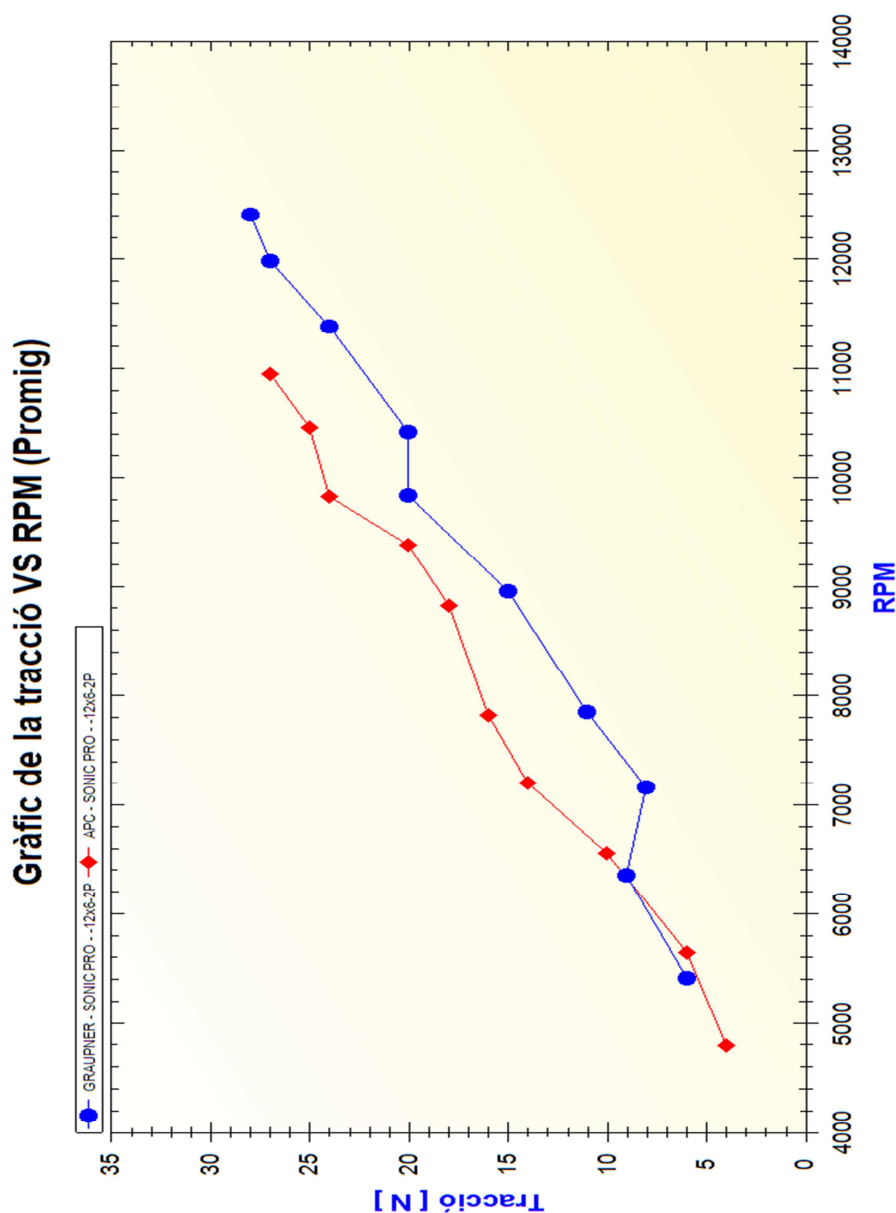
Una de les funcionalitats del software és la comparació dels resultats obtinguts. Seleccionant els resultats dels tests de diferents hèlix podem comparar-les gràficament, obtenint d'aquesta manera un dels objectius principals d'aquest projecte.

A continuació s'adjunten algunes gràfiques comparatives.

10.2.8.1 – Gràfica comparativa 1

Hèlix 1 : GRAUPNER Sonic Pro 12x6 – 2 pales (color blau)

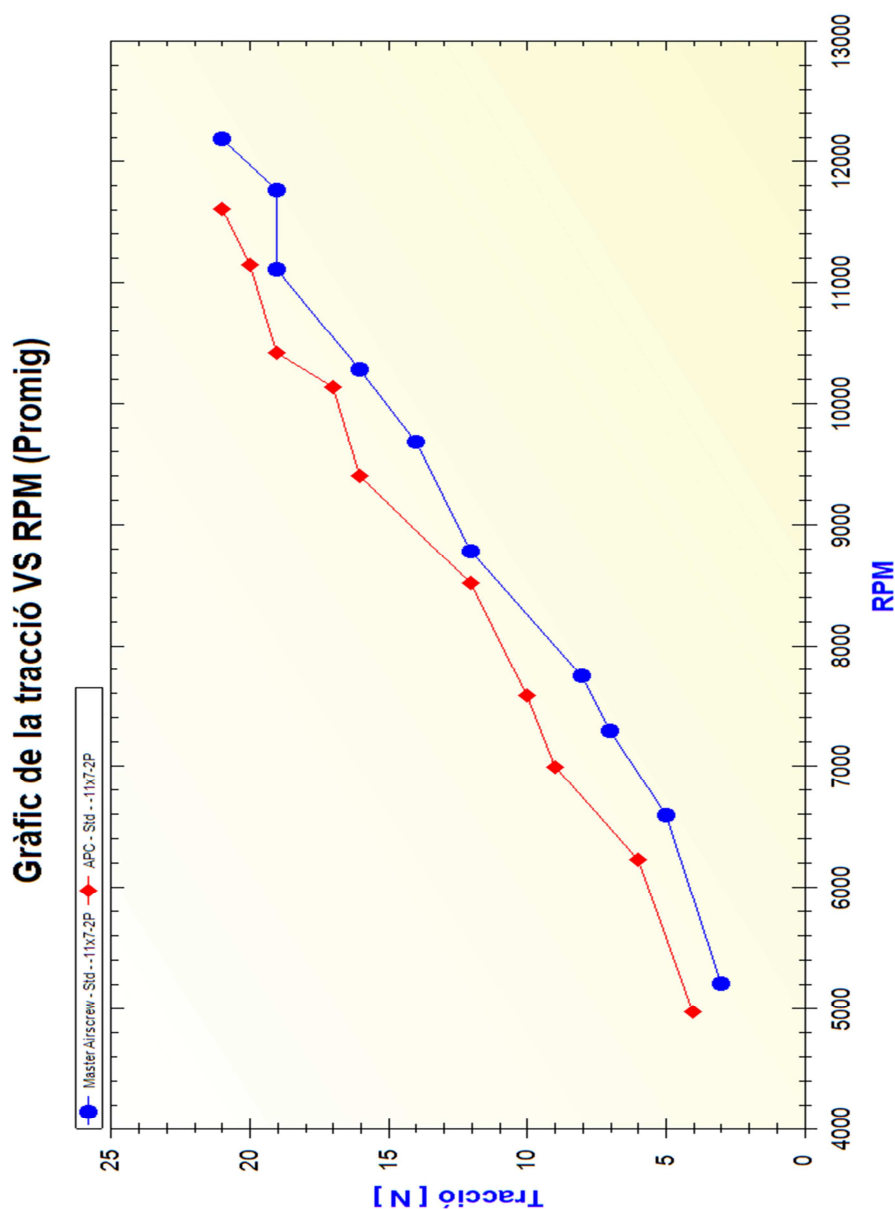
Hèlix 2 : APC 12x6 – 2 pales (color vermell)



10.2.8.2 – Gràfica comparativa 2

Hèlix 1 : Master Aircscrew 11x7 – 2 pales (color blau)

Hèlix 2 : APC 11x7 – 2 pales (color vermell)

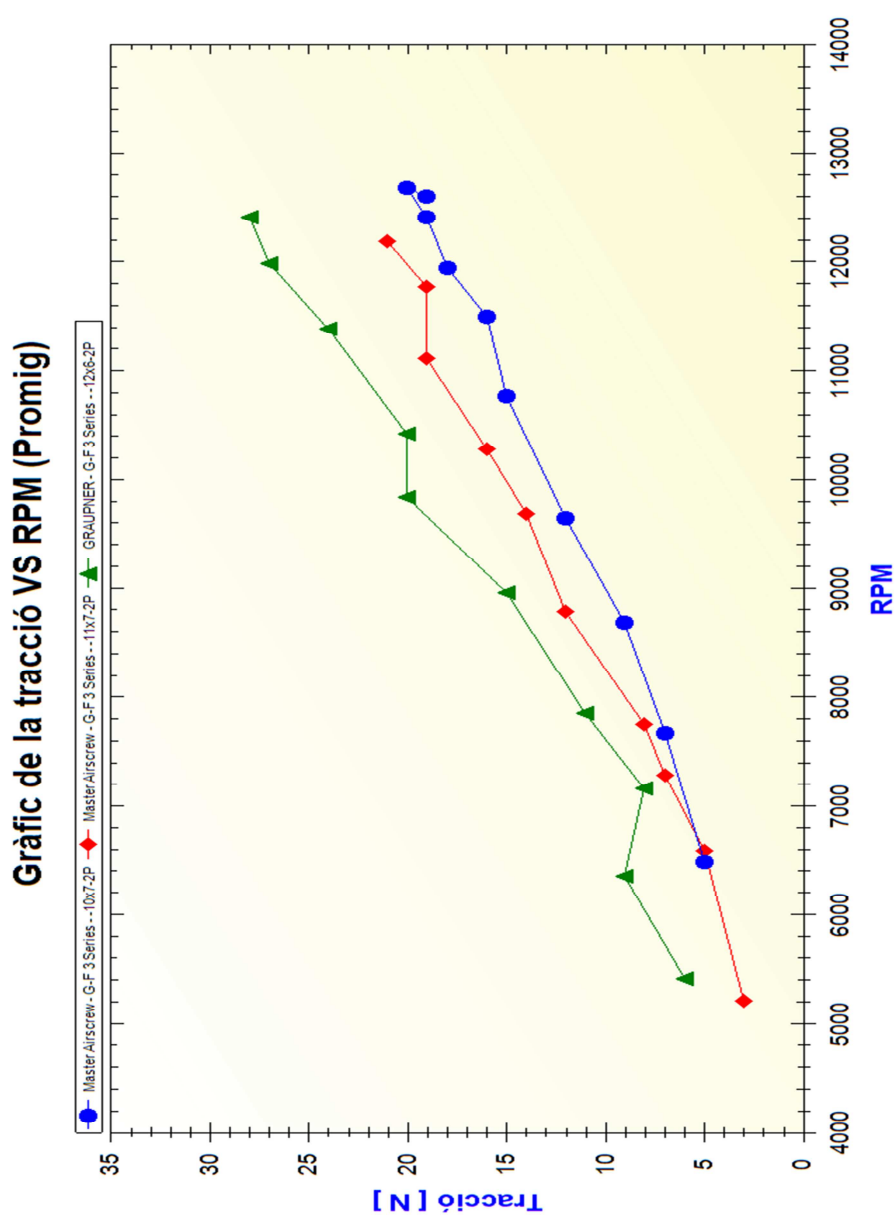


10.2.8.3 – Gràfica comparativa 3

Hèlix 1 : Master Airscrew G-F3 Series 10x7 – 2 pales (color blau)

Hèlix 2 : Master Airscrew 11x7 – 2 pales (color vermell)

Hèlix 3 : GRAUPNER Sonic Pro 12x6 – 2 pales (color verd)

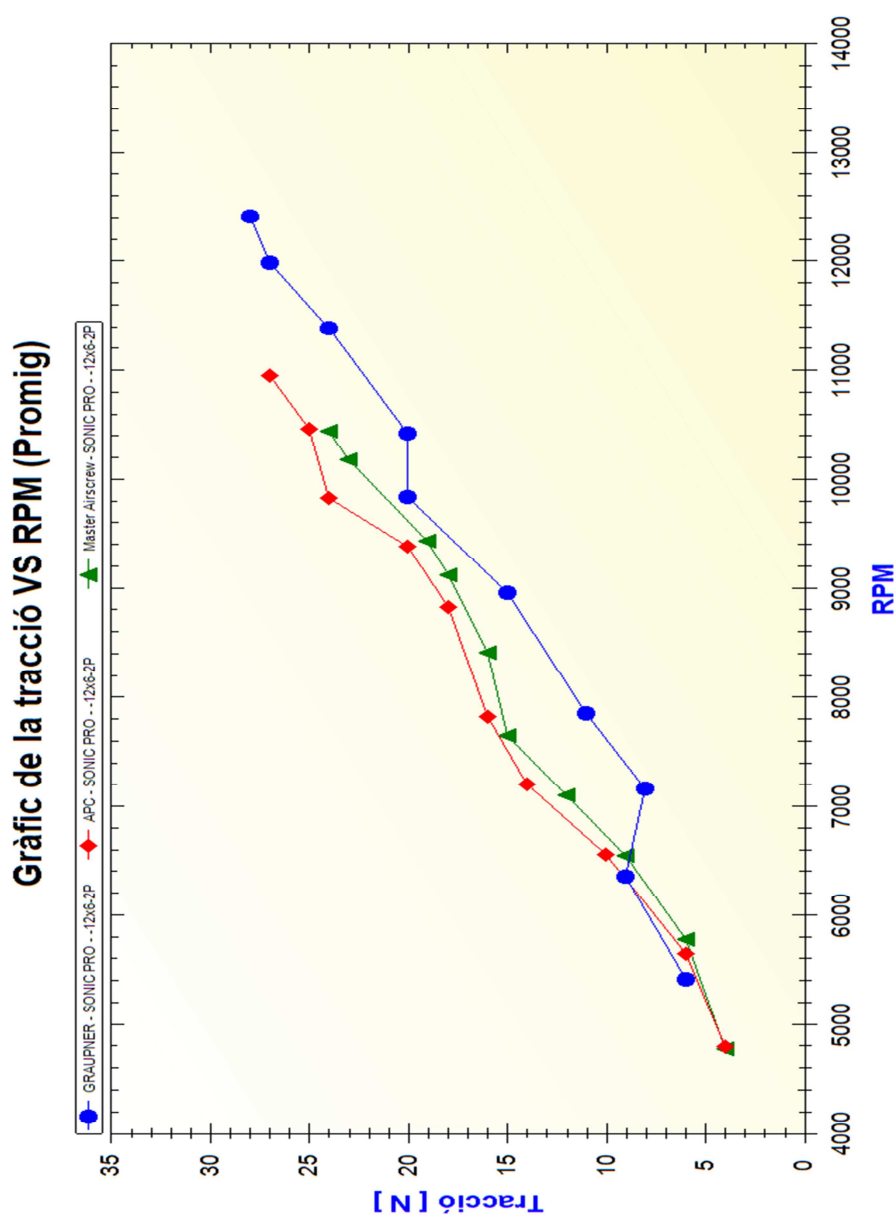


10.2.8.4 – Gràfica comparativa 4

Hèlix 1 : Master Airscrew 12x6 – 2 pales (color verd)

Hèlix 2 : APC 12x6 – 2 pales (color vermell)

Hèlix 3 : GRAUPNER Sonic Pro 12x6 – 2 pales (color blau)



10.2.8.5 – Conclusions de les comparacions de tests

En general, la comparació de tests no mostra cap resultat sorprenent, excepte en el cas de la “Gràfica Comparativa 4”. Entre els modelistes hi ha la tendència a pensar que les hèlix de la marca APC tenen millor tracció que les hèlix GRAUPNER i aquestes també tenen millor tracció que les hèlix de la marca Master Airscrew. Això és degut principalment al seu disseny i per altra part a la seva rigidesa. En el cas de la “Gràfica Comparativa 4”, on es comparen hèlix de 12 polzades de diàmetre i 6 polzades de pas de tres fabricants diferents, GRAUPNER, APC i Master Airscrew, es veu que això no es compleix. En aquesta comparació es pot veure que la hèlix que té menys tracció és la Graupner Sonic Pro 12x6 , i la que té més tracció és la APC 12x6.

Aquesta conclusió no és en absolut extrapolable a tots els casos de comparació entre les tres marques. Caldrà fer més tests comparatius de hèlix de característiques iguals per treure-n les corresponents conclusions.

11 – AMPLIACIONS FUTURES

El sistema electrònic s'ha sobredimensionat de manera que s'hi puguin afegir noves prestacions.

Una de les prestacions que es preveu afegir-hi és poder determinar el rendiment d'aquests motors de modelisme. Per fer això ens cal conèixer el consum que tenen, la relació combustible/aire que entra al cilindre entre altres factors.

12 – CONCLUSIONS

La conclusió la podem dividir actualment en tres parts ben diferenciades:

- Sobre la bancada de tracció
- Sobre el conjunt electrònic
- Sobre el software

Les observacions sobre la bancada de tracció es redueixen simplement a dir que compleix correctament la seva funció. Les vibracions degudes a les explosions dels motors no es veuen amplificades al ser transmeses cap al sensor de tracció. Les pèrdues per fregament són molt petites, la qual cosa no afecta gairebé gens a les mesures del sensor. Una de les característiques que havien de tenir els bancs de proves dissenyats era que fossin escalables, és a dir, canviant les seves mides havien de poder-se utilitzar amb motors més grans. Aquesta característica també es compleix. En quant a la bancada per realitzar el test de parell i potència, el seu disseny també està enfocat a la seva escalabilitat, i la seva funcionalitat queda pendent de verificar fins que es pugui construir.

En quant al sistema electrònic es pot dir que compleix les seves funcions correctament, no s'ha detectat cap mal funcionament durant el funcionament ni amb la proximitat d'un motor d'encesa per espurnes. El control del servo sembla fiable doncs el seu posicionament és estable i no s'han observat en cap moment moviments inesperats ni "glitch".

El software també funciona correctament, al menys no s'han detectat errors de funcionament. Es preveu millorar-lo en futures versions a mesura que es disposi d'opinions d'altres usuaris i afegir-hi, si fa falta, noves funcionalitats.

En conjunt es pot dir que tot funciona correctament i tal com estava previst al definir aquest projecte.

ADRECES D'INTERNET

Mesura de la potència i del parell

<http://modelengineneers.org/techniques/testing.html#t1> (5-11-2012)
<http://www.clcombat.info/dyno.html> (5-11-2012)
https://www.araiindia.com/CMVR_TAP_Documents/Part-04/Part-04_Chapter06.pdf (6-11-2012)
http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/SAE_%CE%94%CE%A5%CE%9D%CE%91%CE%9C%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97_%CE%9C%CE%95%CE%9A.pdf (8-11-2012)

Hèlices

<http://www.mh-aerotools.de/airfoils/propuls3.htm>
http://g.rouby.free.fr/comprendre_helice.htm
<http://www.grc.nasa.gov/WWW/BGH/reynolds.html>
http://g.rouby.free.fr/comprendre_helice.htm
http://2jg51.org/hs/helices/prop_04.php
<http://www.allstar.fiu.edu/aero/BA-Background.htm>
<http://www.physicsforums.com/archive/index.php/t-248930.html>
http://www.mh-aerotools.de/airfoils/javapipe_en.htm
<http://freeflightquarterly.blogspot.com.es/2010/12/model-propeller-constants.html>
<http://www.heliciel.com/helice/helice-propulsion/Performance%20helice%20propulsion%20a%20vitesse%20nulle.htm>
http://www.ae.illinois.edu/m-selig/props/propDB.html#Master_Airscrew
<http://www.miliamperios.com/foro/ingenieria-del-aeromodelismo-f48/diferencia-entre-static-thrust-prop-stall-thrust-t178451.html>

Termodinàmica

<https://www.brisbanehotairballooning.com.au/faqs/education/116-calculate-air-density.html>
http://wahiduddin.net/calc/density_altitude.htm
http://www.gribble.org/cycling/air_density.html
http://wahiduddin.net/calc/calc_da_rh.htm

Electrònica

<http://www.mcbtec.com/Servos.htm>
http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_de_modelismo

BIBLIOGRAFIA

- [1] “*Engine Power Test Code—Spark Ignition and Compression Ignition—Net Power Rating*”, standard SAE J1349, Agost 2004

- [2] “*Impacto de la nueva fórmula de la densidad del aire CIPM-2007*”, del simposio de meteorología 27 al 29 octubre 2010.

- [3] JENNINGS, Gordon (1973). “*Two-stroke tuner’s handbook*”. Ed. H.P. Books, any 2007

- [4] RAINE, Robert R. *et al*, “*A cost-effective teaching and research Dynamometer for small engines*”, Ed. Tempus Publications 2002

- [5] STRIDE, Malcom (2007). “*Miniature Internal Combustion Engines*”. Crowood Press

- [6] MILLER, Lohring. “*Inertial dynamometer*”. Model engine builder magazine, Issue 15, January-february 2008

- [6] MINGTAI, Chen “*Static Thrust Measurement for Propeller-driven Light Aircraft*”. Document de la The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling (2012).

- [7] BRANDT, John B. , SELIG, Michael S. “*Propeller Performance Data at Low Reynolds Numbers*”, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting AIAA 2011-1255, 4-7 January 2011, Orlando, FL.

- [8] GARNER, W.B. , “*Model airplane propellers*”, Març 2009

- [9] DIEHL, Walter S. *"Static thrust of airplane propellers"*, Report nº 447, Bureau of aeronautics, Navy department, Washington DC, Sept 1932
- [10] MERCHANT, Monal Pankaj, "Propeller performance measurement for low Reynolds number unnamed aerial vehicle applications". Tesis presentada l'any 2004 a la Wichita State University (USA)
- [11] MARTIN PASCUAL, Carlos, *"Como mejorar los motores de dos tiempos para modelismo"*. Espanya, Agost 2006

ANNEX

En aquest annex s'hi adjunten els esquemes electrònics de cadascun dels circuits que intervenen en la mesura de la tracció.